

Claudio Luiz de Andrade Vieira Filho

**CARACTERIZAÇÃO DE ELETROSSEQUÊNCIAS DA FORMAÇÃO
URUCUTUCA ATRAVÉS DE PERFIS GEOFÍSICOS DE POÇOS,
SUDESTE DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho Final de Curso

(Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2017



UFRJ

Claudio Luiz de Andrade Vieira Filho

**CARACTERIZAÇÃO DE ELETROSSEQUÊNCIAS DA FORMAÇÃO
URUCUTUCA ATRAVÉS DE PERFIS GEOFÍSICOS DE POÇOS,
SUDESTE DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Fonseca Borghi de Almeida

Carlos Eduardo Nascimento Cardoso

João Paulo Miranda Oliveira

Rio de Janeiro
Dezembro de 2017

Vieira Filho, Claudio Luiz de Andrade.

Caracterização de eletrosequências da Formação Urucutuca através de perfis geofísicos de poços, sudeste da Bacia do Espírito Santo

Claudio Luiz de Andrade Vieira Filho - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2017.

xiv, 61 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2017.

Orientadores: Leonardo Fonseca Borghi de Almeida, Carlos Eduardo Nascimento Cardoso e João Paulo de Oliveira.

1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de Conclusão de Curso. I Leonardo Fonseca Borghi de Almeida (UFRJ). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Claudio Luiz de Andrade Vieira Filho

**CARACTERIZAÇÃO DE ELETROSSEQUÊNCIAS DA FORMAÇÃO
URUCUTUCA ATRAVÉS DE PERFIS GEOFÍSICOS DE POÇOS,
SUDESTE DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Fonseca Borghi de Almeida

Carlos Eduardo Nascimento Cardoso

João Paulo Miranda Oliveira

Aprovada em:

Por:

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Borghi (UFRJ)

Prof. Dr. Jorge J. Picanço de Figueiredo (UFRJ)

Dr. Aristides Orlandi Neto (Lagesed - UFRJ)

Agradecimentos

Agradecer à minha família em primeiro lugar, pois são meus alicerces e meus maiores tesouros, especialmente meus pais, meus tios e tias, e minha querida avó que tanto cuidou de mim em vida.

Agradeço a todos meus professores do Departamento de Geologia que se empenharam para que esse momento se tornasse realidade, transmitindo um vasto conhecimento geológico.

Ao meu orientador Leonardo Borghi pelo empenho nas pesquisas que envolvem este trabalho, e incrível infraestrutura do Laboratório de Geologia Sedimentar.

Ao meu orientador João Paulo Miranda Oliveira, sempre me mostrando o melhor caminho, ensinando a melhor forma de expressar um trabalho científico, com seus paralelismos, padrões e grande sabedoria.

Ao meu orientador Carlos Eduardo pelo enriquecimento do presente trabalho com questões técnicas e tecnológicas.

Ao pesquisador Aristides Orlandi Neto que fortaleceu meus resultados com sua experiência e conhecimento.

Ao pesquisador Marcelo Mendes, o famoso “Belezura”, que não me mediu esforços para me ajudar com os perfis geofísicos e conhecimento geológico, além das boas gargalhadas ao longo das nossas conversas.

Ao professor Patrick Dal’Bó, que me indicou para pesquisa, confiando no meu potencial e trabalho.

Aos meus companheiros de laboratório (Lagesed) pelo companheirismo e apoio durante as pesquisas, em especial Douglas Rosa pelo auxílio na construção do mapa.

Aos meus amigos de turma que me fizeram sentir grandes emoções durante a graduação, Jeniffer Chiappini, Mayara Coutinho, Juliana Godoy, Carolina Lyra, Salomão Nunes Alencar, Gabriel Eloy, Igor Vasconcelos, Rodrigo Fernandes Freitas, Pedro Miloski, Felipe Vasconcelos “Parazão”.

À Juliana Vilhena pela sua dedicação, carinho e companheirismo ao longo da graduação, com suas conversas geológicas, inteligência e seus belíssimos resumos, praticamente artigos científicos.

À ONGC e ao Lagesed pelo apoio no projeto Delta II - “Gearquitectura do Complexo Deltaico do Rio Doce e seu papel na transferência sedimentar para águas profundas: um análogo moderno à acumulação dos arenitos reservatórios do Parque das Conchas”.

“Para os erros, há perdão. Para os fracassos, chance. Para os amores impossíveis, tempo. Não deixe que a saudade sufoque, que a rotina acomode, e que o medo o impeça de tentar”

Luís Fernando Veríssimo

Resumo

VIEIRA FILHO, Claudio Luiz de Andrade. **Caracterização de Eletrosequências da Formação Urucutuca através de perfis geofísicos de poços, sudeste da Bacia do Espírito Santo**. 2017. xiv, 61 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Os perfis geofísicos de poços são ferramentas importantes para análise geológica principalmente na fase de exploração, onde são obtidas em resposta às propriedades físicas das rochas, tais como características elétricas, acústicas, radioativas e mecânicas. Este estudo tem como objetivo caracterizar qualitativamente e quantitativamente em eletrosequências a Formação Urucutuca da Bacia do Espírito Santo, através da resposta de perfis geofísicos, e, com isso, correlaciona-las entre poços. A localização da área de estudo compreende a região de água profunda a sudeste da bacia, situada no campo produtor de Golfinho, onde foram selecionados três poços 6-BRSA-486-ESS, 4-BRSA-444A-ESS e 1-BRSA-789-ESS, pela grande representatividade da Formação Urucutuca. Foram utilizados os perfis básicos como o Raios Gama, Resistividade, Sônico, Densidade e Neutrão, os quais foram carregados, analisados e interpretados em um *software* específico. O estudo consistiu em três etapas: (1) interpretação dos perfis básicos; (2) análise estatística; e (3) correlação dos poços. Na primeira etapa, foram observadas variações nos padrões desses perfis, associados às diferenças elétricas em resposta ao meio. Essas variações possibilitaram o reconhecimento de 10 eletrosequências e 8 marcos elétricos, que são os limites entre essas variações, ou seja, o limite entre as Eletrosequências. Posteriormente, foi realizada a análise estatística univariada e multivariada para corroborar a interpretação das 10 eletrosequências a partir da variação nos padrões dos perfis, o que permitiu identificar maiores informações sobre a variabilidade litológica e, conseqüentemente, sobre a interpretação deposicional. Na última etapa, realizou-se a correlação das Eletrosequências entre os poços, que auxiliou a visualização e a compreensão da continuidade lateral no sentido *downdip*, evidenciando a heterogeneidade da Formação Urucutuca nessa porção da bacia.

Palavras-chave: Eletrosequências; Formação Urucutuca; Bacia do Espírito Santo.

Abstract

VIEIRA FILHO, Claudio Luiz de Andrade. **Characterization of Electrosequences of the Urucutuca Formation by well logs, southeast of Espírito Santo Basin.** Ano. 2017, 61 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Well logs are important tools for geological analysis, mainly in the exploration phase, where they are obtained in response to the physical properties of the rocks, such as electrical, acoustic, radioactive and mechanical characteristics. This study aims to characterize qualitatively and quantitatively the Urucutuca Formation of the Espírito Santo Basin in Electrosequences, through the response of the well logs, and, therefore, to correlate them between wells. The location of this study comprises the deepwater area, SE of the basin, located in the Golfinho producing field, where three wells were selected 6-BRSA-486-ESS, 4-BRSA-444A-ESS and 1-BRSA-789-ESS, by the great representativeness of the Urucutuca Formation. Basic logs such as Gamma Ray, Resistivity, Sonic, Density and Neutron were used, which were loaded, analyzed and interpreted in specific software. The study consisted of three stages: (1) interpretation of the basic logs; (2) statistical analysis; and (3) well correlation. In the first stage, variations in the patterns of these logs were observed, associated to the electrical differences in response to the environment. These variations allowed the recognition of 10 electrosequences, and of 8 electric marks, which are the limits between these variations, in other words, the limits between the electrosequences. Subsequently, the univariate and multivariate statistical analysis was carried out to corroborate to the interpretation of the 10 electrosequences, which were interpreted from the variation of the log patterns. This analysis allowed to identify more information of the lithological variability and, consequently, of the depositional interpretation. In the last step, the correlation of the electrosequences between the wells was performed, this aided the visualization and the understanding of the lateral continuity in the downdip orientation, evidencing the heterogeneity of the Urucutuca Formation in this portion of the basin.

Key-Words: Electrosequences, Urucutuca Formation; Espírito Santo Basin

Lista de figuras

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.	3
Figura 2 – Ilustração mostrando a interpretação da área de influência da pluma mantélica que condicionou o rifteamento na região sul do paleocontinente Gondwana.(White & Mckenzie, 1989).	4
Figura 3 – Diagrama Estratigráfico da bacia do Espírito Santo (França et al.,2007).	7
Figura 4 – Dados carregados no <i>software IP</i> , mostrando a extensão dos arquivos (LAS).	10
Figura 5 Perfis Raio Gama indicando as características de cada litologia em resposta à sua radioatividade natural.	12
Figura 6 – Relações entre os intervalos do perfil de densidade associados a determinadas classes litológicas.	15
Figura 7 – Relações entre os intervalos do perfil neutrão associados a determinadas classes litológicas.	17
Figura 8 – Fluxograma indicando todas as etapas realizadas.	18
Figura 9 – Input dos dados das eletrossequências pós interpretação no <i>software IP</i> .	19
Figura 10 – (a) Histogramas para identificar litotipos, uma forma de auxiliar a interpretação geológica. (Fonte: Rider, 2000) (b) Gráfico de zoneamento entre arenitos e folhelhos analisados com o cruzamento dos perfis Raios Gama e Resistividade (Fonte: Rider, 2000).	22
Figura 11 – Interpretação da Eletrossequência URU 1, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS.	24
Figura 12 – Interpretação da Eletrossequência URU 2, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS.	25
Figura 13 – Interpretação da Eletrossequência URU 3, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS.	26
Figura 14 – Interpretação da Eletrossequência URU 4, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS.	27
Figura 15 – Interpretação da Eletrossequência URU 5, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS.	28
Figura 16 – Interpretação da Eletrossequência URU 6, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS.	29

- Figura 17** – Interpretação da Eletrosequência URU 7, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. 30
- Figura 18** – Interpretação da Eletrosequência URU 8, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. 31
- Figura 19** – Interpretação da Eletrosequência URU 9, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. 32
- Figura 20** – Interpretação da Eletrosequência URU 10, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. 33
- Figura 21** – Interpretação das Eletrosequências URU 1 e URU 2, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Densidade X Neutrão. 35
- Figura 22** - Interpretação das Eletrosequências URU 2 e URU 3, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Densidade X Neutrão. 37
- Figura 23** – Interpretação das Eletrosequências URU 3 e URU 4, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Resistividade. 39
- Figura 24** – Interpretação das Eletrosequências URU 4 e URU 5, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Resistividade. 42
- Figura 25** – Interpretação das Eletrosequências URU 5 e URU 6, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Sônico. 44
- Figura 26** – Interpretação das Eletrosequências URU 6 e URU 7, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Sônico. 46
- Figura 27** – Interpretação das Eletrosequências URU 7 e URU 8, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Resistividade. 48
- Figura 28** – Interpretação das Eletrosequências URU 8 e URU 9, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Sônico. 50
- Figura 29** –. Interpretação das Eletrosequências URU 9 e URU 10, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Sônico. 52
- Figura 30** – Correlação entre os poços do estudo mostrando a compatibilidade entre as eletrosequências e abrangência da Formação Urucutuca. 57

Figura 31 – Associação das eletrosequências ao diagrama estratigráfico da Bacia do Espírito Santo, a partir das informações cronoestratigráficas dos poços. 58

Lista de quadros

Quadro 1. Principais características de tempo de trânsito referentes a diferentes litologias.....14

Quadro 2. Identificação das 10 eletrosequências, mostrando a nomenclatura e sigla utilizada para as mesmas.....24

Sumário

Agradecimentos	vi
Resumo	viii
<i>Abstract</i>	ix
Lista de figuras	x
Lista de Quadros	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Área de estudo.....	2
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	3
2.1 Bacia do Espírito Santo.....	3
2.2 Evolução Tectossedimentar.....	3
2.3 Formação Urucutuca.....	8
3 MATERIAIS E MÉTODOS	9
3.1 Dados obtidos	9
3.2 Perfilagem Geofísica de Poços.....	10
3.2.1 Perfil de Raios Gama.....	11
3.2.2 Perfil de Sônico.....	13
3.2.3 Perfil de Densidade.....	14
3.2.4 Perfil de Resistividade.....	15
3.2.5 Perfil Porosidade Neutrão.....	16
3.3 Fluxograma do estudo.....	17
4 RESULTADOS	23
4.1 Caracterização de Eletrosequências.....	23
4.2 Análises das eletrosequências pelos Histogramas e <i>Cross-Plot</i>	33
4.3 Correlação de poços.....	52
5 CONCLUSÕES	59
Referências bibliográficas.....	60
Apêndice A.1 – Histogramas e <i>Cross-Plot</i> do poço 6-BRSA-486-ESS	
Apêndice A.2 – Histogramas e <i>Cross-Plot</i> do poço 4-BRSA-444A-ESS	

1 INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos gerais

A Bacia do Espírito Santo apresenta um histórico exploratório que aumenta o viés das pesquisas para o entendimento sobre o arcabouço estratigráfico e sedimentológico, sendo a Formação Urucutuca a principal responsável pela acumulação e geração de hidrocarbonetos, associados aos turbiditos e folhelhos de idade Cretácea/Terciário, onde predominam os *plays* exploratórios (Ávila, 2015).

A caracterização de Eletrossequências, através dos perfis geofísicos, é uma ferramenta fundamental para demonstrar a compartimentação de uma unidade litoestratigráfica, sendo possível extrair maiores informações sobre continuidade vertical, deposicional e sedimentológica (Rider, 2000). Diante disso, essa caracterização é importante para o êxito na exploração, pois é possível isolar e detalhar a zona com a maior prospecção, identificando reservas e diminuindo riscos exploratórios.

Dentro deste contexto, o presente trabalho foi proposto para caracterizar a Formação Urucutuca em eletrossequências, a partir de análise de perfis geofísicos de poço. E para entender como as eletrossequências se comportam dentro de uma grande área, a correlação estratigráfica entre poços se tornou imprescindível para representar a contextualização geológica, mostrando a relação da continuidade lateral e a abrangência da formação, sendo a unidade litoestratigráfica foco do estudo pela grande representatividade e importância na bacia.

1.2 Objetivos

O estudo tem como objetivo principal caracterizar a Formação Urucutuca da Bacia do Espírito Santo, analisando-a qualitativamente e quantitativamente em eletrossequências, através da interpretação das respostas dos perfis geofísicos básicos de poços.

E como objetivos secundários, corroborar a interpretação dos perfis e identificar litologias a partir da análise estatística, além de observar se existe heterogeneidade na Formação Urucutuca, no sentido *down dip*, por meio da correlação entre os poços.

1.3 Área de estudo

A Bacia do Espírito Santo localiza-se na margem continental leste brasileira e possui uma área de aproximadamente 115.200 km², dos quais 101.880 km² correspondem à porção submersa e 13.320 km² encontram-se emersos (Ávila, 2015).

A área de estudo compreende a região do campo produtor de Golfinho, na parte sudeste da bacia, e engloba desde o talude até a região abissal (Figura 1), aproximadamente 60 km de distância da linha costa.

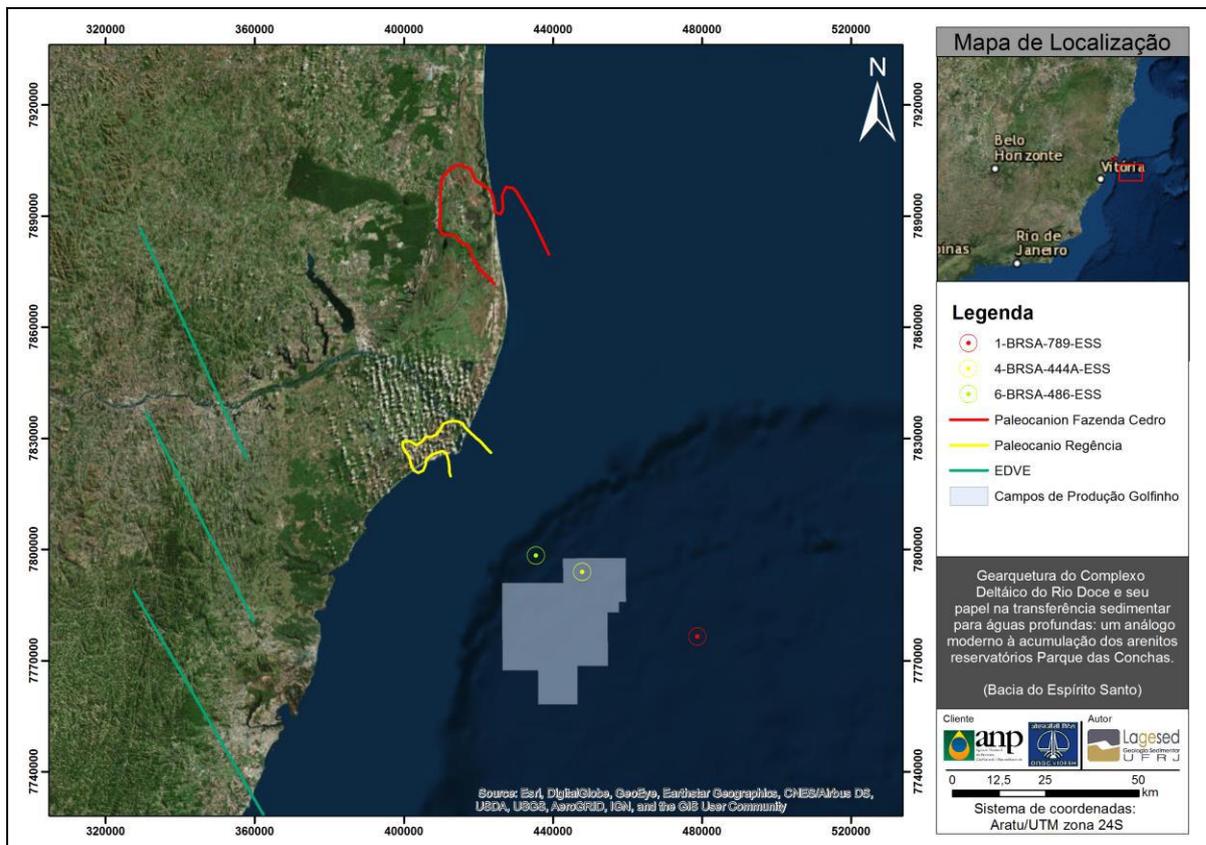


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Os três poços estudados estão localizados na região de água profunda da Bacia do Espírito Santo, desde o talude até região abissal.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Bacia do Espírito Santo

A Bacia do Espírito Santo pertence ao conjunto das bacias de margem leste do Brasil. Segundo França *et al.* (2007), o limite sul, com a Bacia de Campos, é determinado pelo Alto de Vitória, e a norte, com a Bacia de Mucuri, pelo Complexo Vulcânico de Abrolhos. Em contrapartida, de acordo com Aristizábal (2013), o limite da região sul com a Bacia de Campos é representado pelo Enxame de Diques Vitória – Ecoporanga (EDVE) (Figura 1), sendo responsável pela formação do Alto de Vitória ao deformar o embasamento Proterozóico durante a reativação tectono-magmática do Neocomiano, condicionando o controle sedimentar durante a fase sin-rifte. Neste trabalho será considerado o limite com a Bacia de Campos através do EDVE.

2.2 Evolução tectonossedimentar

A gênese da bacia está relacionada à fragmentação do paleocontinente Gondwana (Figura 2), que culminou com a abertura do oceano Atlântico Sul, influenciado por processos de rifteamento acarretando o “*break-up*” continental (Bizzi *et al.* 2003).

Os principais modelos de evolução da bacia seguem associados à ocorrência de uma pluma mantélica, que causou o afinamento crustal, ou a processos de estiramento litosférico por cisalhamento puro, que motivaram a anomalia térmica, ou mesmo a junção dos dois fatores anteriormente descritos (White e McKenzie, 1989).



Figura 2 – Ilustração mostrando a interpretação da área de influência da pluma mantélica que condicionou o rifteamento na região sul do paleocontinente Gondwana (Fonte: Modificado White e Mckenzie, 1989).

O embasamento da bacia está relacionado a rochas de alto grau metamórfico retrabalhadas no evento Panafricano - Brasileiro, predominantemente migmatitos, granulitos e gnaisses, que fazem parte do setor norte da Província Mantiqueira pertencendo à Faixa Araçuaí, sendo amostradas em diversos poços terrestres (França *et al.*, 2007).

Segundo França *et al.* (2017), Vieira *et al.* (1994) e Ávila (2015), os processos tectonossedimentares são organizadas em três fases:

(A) Fase Rifte: o regime tectônico nesse momento foi praticamente distensivo e estruturalmente atrelado a falhas normais de alto ângulo com sistema de *horst-graben*. Essa fase apresenta as idades compreendidas do Valanginiano ao Barremiano. O ambiente era continental com sequências sedimentares predominantemente terrígenas providas de ambiente lacustre, com contribuição fluvial e aluvial. Em concomitância, ocorrem eventos extrusivos corroborando as rochas vulcânicas. As unidades litoestratigráficas dessa fase pertencem à

parte basal do Grupo Nativo, representado pela Formação Cabiúnas, que é caracterizada por depósitos vulcânicos, e a Formação Cricaré, constituída de fácies clásticas, carbonatos e margas (Figura 3). A Formação Cricaré é segregada em dois membros, Jaguaré e Sernambi.

(B) Pós-Rifte: o regime tectônico está associado a uma relativa quiescência. Essa fase evolutiva da bacia pertence à megassequência transicional evaporítica com idade do Aptiano (andar Alagoas). A sedimentação passa a sofrer incursões marinhas sendo comparado a um ambiente marinho restrito (golfo), sob condição de alta evaporação, ocorrendo espessos depósitos de evaporitos. A unidade litoestratigráfica que representa essa fase da bacia é a Formação Mariricu (topo do Grupo Nativo), dividida entre os membros Mucuri e Itaúnas, com espessura máxima aproximada de 2000 m (Figura 3).

(C) Fase Drifte: as características do regime tectônico nessa fase são marcadas pelo fim do processo de subsidência mecânica e o efetivo rompimento continental. Durante o Paleógeno, a bacia experimentou uma mudança na sua fase tectônica, com rebaixamento do nível do mar devido aos eventos como o soerguimento da Serra do Mar e o vulcanismo de Abrolhos, tais fatores influenciaram na deposição de espessos pacotes de arenitos na região *offshore*. A idade dessa fase compreende do Albiano ao Recente. A deposição inicial dos sedimentos dessa fase possui características ainda de mar epicontinental, com a implantação de uma grande plataforma carbonática e variações relativas do nível do mar, além da bacia gradar vagarosamente para uma morfologia de rampa com leve gradiente, o que permitiu a disputa entre terrígenos e carbonatos. Uma discordância regional, registrada por todas as bacias de margem leste do Brasil, marca o fim dessa disputa, pontualmente chamada de Discordância Pré-Urucutuca (DPU). Sotoposto à Discordância Pré-Urucutuca (DPU), ocorre o afogamento da plataforma carbonática no Cenomaniano, representado pela base da Formação Urucutuca do Grupo Espírito Santo, foco desse trabalho.

As unidades litoestratigráficas pertencentes à essa fase são representadas pelo Grupo Barra Nova, dividida pelas Formações São Mateus (Siliciclásticos) e Regência (Carbonatos), e pelo Grupo Espírito Santo, que incluem as formações Urucutuca, Caravelas e Rio Doce, além do Complexo vulcânico de Abrolhos.

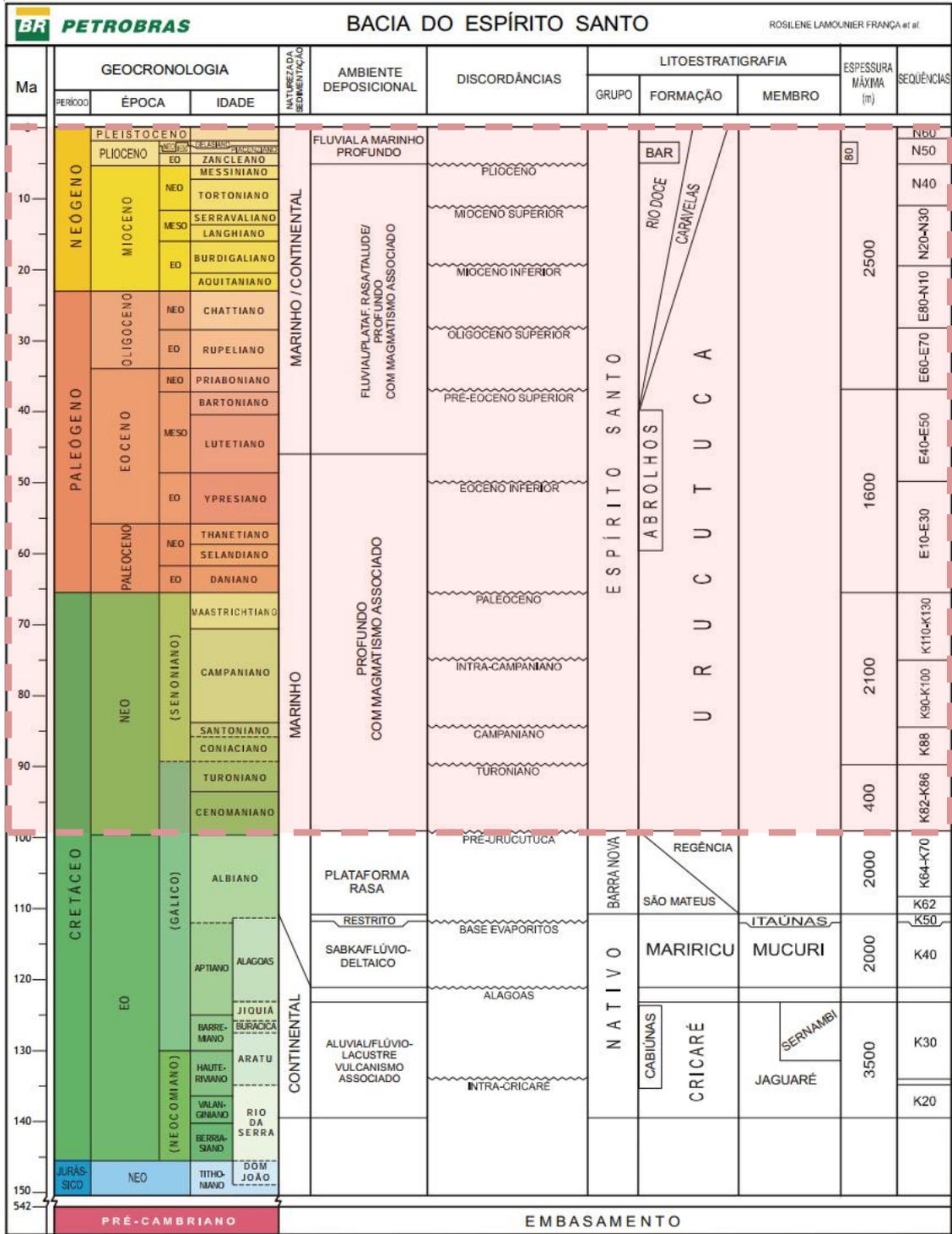


Figura 3 - Diagrama Estratigráfico da Bacia do Espírito Santo. A Formação Urucutuca, foco do estudo, apresenta-se demarcada em vermelho. Fonte: modificado de França *et al.* (2007).

2.3 Formação Urucutuca

A Formação Urucutuca pertence ao Grupo Espírito Santo e possui idades do Cenomaniano ao Recente (Figura 3). Sua história deposicional é iniciada após a instalação de uma discordância regional, a Discordância Pré-Urucutuca.

A Discordância Pré-Urucutuca, na Bacia do Espírito Santo, é responsável pela formação dos paleocânions de Regência e Fazenda Cedro, ambos localizados na porção terrestre e marinha adjacente. Estes paleocânions foram os principais condutos responsáveis pelo aporte sedimentar que alimentou os turbiditos encontrados nas porções distais da bacia (França *et al.*, 2007).

A sedimentação da bacia entre o Neocretáceo e Cenozóico experimentou diversos momentos de transgressão e regressão, fortemente influenciado pelo soerguimento da Serra do Mar e o vulcanismo de Abrolhos, além de ser constituída predominantemente por folhelhos cinza-escuros, calcíferos e arenitos turbidíticos. Na porção mais proximal é composta por folhelhos com intercalações de conglomerados, calcários e arenitos, e na porção distal é predominante o incremento de sedimentos pelíticos sobre os sedimentos clásticos de granulometria grossa (Ávila, 2015).

A Formação Urucutuca apresenta um potencial petrolífero nas suas porções emersa e marinha da bacia. Na porção *offshore*, os reservatórios associados à essa unidade demonstram exemplos de acumulações de fluidos confinados nos arenitos turbidíticos, traçados em estruturas associadas à tectônica do sal, principalmente no campo de Golfinho, que são representados por corpos canalizados sob espessa seção de folhelhos (Ávila, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Dados obtidos

Os dados geofísicos de poços são provenientes do Banco de Dados de Exploração e Produção da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (BDEP/ANP), obtidos como usuário eventual do projeto Delta II, intitulado “Gearquitetura do Complexo Deltaico do Rio Doce e seu papel na transferência sedimentar para águas profundas: um análogo moderno à acumulação dos arenitos reservatórios do Parque das Conchas” (ONGC / COPPETEC / Lagesed - UFRJ).

Foram escolhidos três poços (6-BRSA-486-ESS, 4-BRSA-444A-ESS e 1-BRSA-789-ESS), que melhor representam a unidade litoestratigráfica foco do estudo, a Formação Urucutuca, na região *offshore* sudeste da Bacia do Espírito Santo (Figura 1). Esses poços contêm os perfis geofísicos básicos, tais como: Raios Gama (**RG**); Densidade (**RHOB**); Porosidade (**NPHI**); Resistividade (**RES**) e Sônico Compressional (**DTC**), em formatos de arquivo tipo ASCII Perfil (LAS), apresentado na figura 4, além dos perfis compostos em formato *.pdf.

Foi utilizado o *software* específico, *Interactive Petrophysics versão 4.4 (IP)*, para o carregamento, processamento e interpretação dos dados, que envolvem a caracterização das eletrosequências, análise estatística e correlação de poços.



Figura 4 – Dados carregados no *software* IP, mostrando a extensão dos arquivos (LAS).

3.2 Perfílame geofísica de poços

A Perfílame geofísica é o método de avaliação indireta das formações geológicas, através de um conjunto de ferramentas capazes de registrar em detalhe suas propriedades físicas (Rider, 2000). A utilização da perfílame geofísica abrange diversos setores como a indústria da hidrogeologia, da mineração e, principalmente, do petróleo. Na indústria do petróleo, a estimativa do volume e o valor da jazida de hidrocarbonetos, atrelado à profundidade, são os principais objetivos da perfílame, sendo imprescindível para compreender a geologia da região em potencial (Nery, 2015).

Essa forma indireta de prospecção é realizada por uma sonda de perfuração integrada, com múltiplos sensores que registram os parâmetros geofísicos durante a perfuração (*Logging While Drilling*) ou após a perfuração (*Wireline*). Os poços do estudo foram perfilados por ferramentas de *Wireline*, que são medidas através de uma sonda descida no poço aberto com

múltiplos sensores, a qual o cabo está submetido à tensão constante, para não haver erros em relação à profundidade (Rider,2000).

A partir da perfilagem, as rochas podem ser identificadas em função das suas propriedades elétricas (condutividade, polarização induzida, constante dielétrica, entre outras), acústicas (velocidade de propagação de ondas elásticas compressionais ou cisalhantes, em relação a intervalos verticais das rochas), radioativas (naturais ou induzidas), mecânicas, térmicas, entre outras (Nery, 2013).

Conforme apresentado, para o presente trabalho foram selecionados os perfis geofísicos básicos de Raios-gama (RG), Resistividade, Densidade (RHOB), Neutrão (NPHI) e Sônico Compressional (DTC), que serão discutidos com mais detalhe nos itens abaixo.

3.2.1 Perfil de raios-gama

Um perfil geofísico de raios gama tem ampla importância para a interpretação geológica e para a exploração de hidrocarbonetos. Através de ferramentas específicas, segundo Rider (2000), esse perfil registra a radioatividade natural da formação através de três elementos químicos principais, Urânio (U), Tório (Th) e Potássio (K). A figura 9 demonstra a resposta do perfil de Raios Gama a partir da análise da radioatividade total combinada da formação. A unidade de medida é o grau API (*American Petroleum Institute*), definida pela Universidade de Houston, Texas.

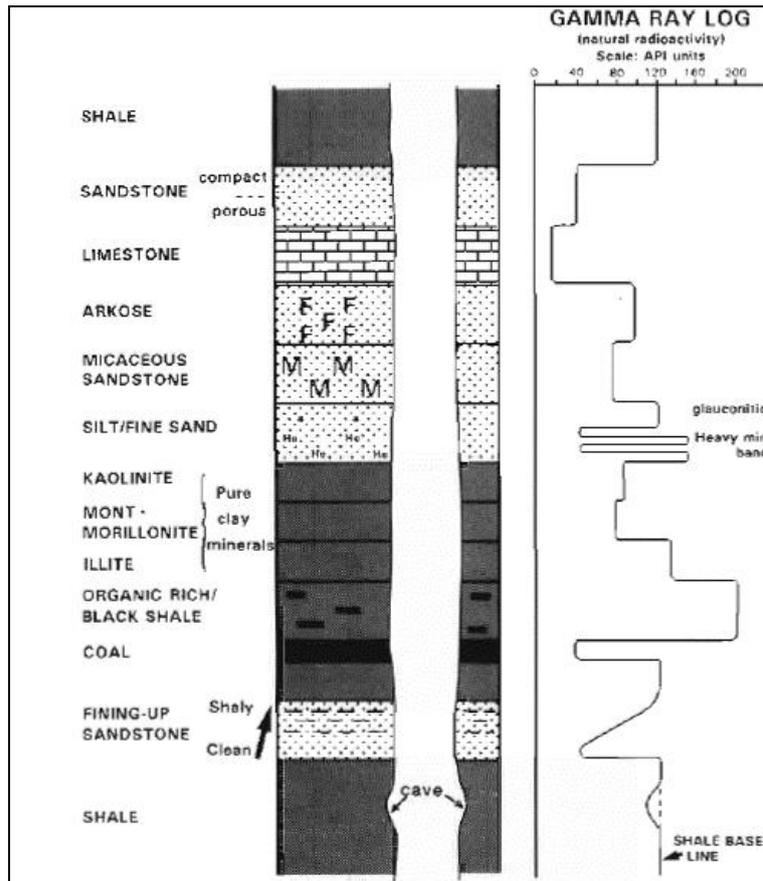


Figura 5 Perfis Raio Gama indicando as características de cada litologia em resposta à sua radioatividade natural. As rochas areníticas e carbonáticas geralmente são rochas menos radioativas que folhelhos. Fonte: Rider (2000).

A maior parte das rochas apresenta um valor determinado de radioatividade, como por exemplo, rochas ígneas e metamórficas possuem altos valores em comparação às rochas sedimentares. Entretanto, entre as rochas sedimentares, os folhelhos se destacam pela alta radioatividade, essa característica é explicada pela capacidade entre as argilas e/ou folhelhos de reter íons metálicos, entre eles Urânio e Tório, sendo que um maior ou menor percentual desses elementos dependerá do ambiente deposicional e/ou modificações diagenéticas. Além disso, é comum valores altos de elementos radioativos em arenitos arcoseanos e sequências arenos-argilosas (Rider, 2000).

De acordo com Nery (2013), as rochas são divididas em três classes de grupos nivelados pela radioatividade, são eles:

- (a) Rochas altamente radioativas: folhelhos e argilas de água profunda, formadas por lama com matéria orgânica, evaporitos de alto teor de potássio (K) (carnalita, silvinita e taquidrita);
- (b) Rochas medianamente radioativas: folhelhos e arenitos argilosos de águas rasas e carbonatos / dolomitos argilosos;
- (c) Rochas de baixa radioatividade: maioria carvões e evaporitos não potássicos (halita, anidrita, gipsita), além dos carbonatos e quartzo arenitos.

O principal objetivo desse tipo de perfil geofísico é diferenciar a formação geológica pelas suas características radioativas; interpretação paleoambiental; correlação de poços, mostrando os eventos deposicionais; determinação exata de profundidade das ferramentas de perfilagem; e cálculo de argilosidade nas camadas (Nery,2013).

3.2.2 Perfil sônico

De acordo com Rider (2000), o perfil sônico demonstra o intervalo do tempo de trânsito da formação, chamada de Δt , que é uma medida da capacidade da formação para transmitir ondas acústicas, apresentado a unidade do perfil em us/ft. A velocidade das ondas acústicas variam com as características distintas de cada formação, sendo geologicamente intrínseca à variação litológica.

A ferramenta utilizada para o perfil sônico consiste em um transmissor de frequência constante, sônica baixa e diversos receptores estrategicamente espaçados. Um impulso acústico, uma onda elástica, curto e de alta amplitude propaga-se entre os diferentes tipos de camadas sofrendo dispersão e atenuações, absorvidas pelas rochas até ativar os receptores posicionados a distâncias fixas anteriormente calibradas (Nery, 2013). O quadro 1 mostra o

tempo do trânsito da onda sonora em algumas formações geológicas, podendo ser usado como parâmetro na interpretação litológica.

Quadro 1 - Principais características de tempo de trânsito referentes a diferentes litologias. Observe que as rochas com maior porosidade possuem tempo maior, conseqüentemente uma velocidade menor. Fonte: modificado de Rider (2000).

Material	Δt (μ/ft)	V(m/s)	V(ft/s)
Arenito	55.5-51	5490-5950	18,000-19,500
Calcário	53-47.6	5800-7000	19,000 - 23,000
Dolomita	45-38.5	6770-7925	22,200-26,000
Folhelho	167-62,5	1600-5000	5000-16,000
Halita	66.7	4550	15,000
Água salgada	189-200	1610-1525	5290-5000

O equipamento mede a diferença do tempo de trânsito entre o transmissor e os receptores, com isso, as ondas compressionais são as primeiras a serem captadas, posteriormente as ondas cisalhantes, não propagáveis em fluidos, depois as ondas *Rayleigh* e *Stoneley* (Nery, 2013).

A utilidade do perfil sônico abrange principalmente a indústria do petróleo e a indústria da água subterrânea, pois uma de suas principais características é analisar a relação entre o tempo de propagação das ondas acústicas com a porosidade das rochas. Rochas com mais fluidos dentro de seus poros evidenciarão um tempo de trânsito maior, em comparação com outro meio com menos fluido (Nery,2013).

3.2.3 Perfil de densidade (RHOB)

O perfil de densidade registra continuamente as variações das densidades das camadas (g/cm^3 ou kg/m^3), que são adquiridas através do bombardeio das camadas por um feixe monoenergético de raios gama, de intensidade fixa, ao sair da fonte choca-se diversas vezes com os elétrons da formação. Posteriormente, ocorre a dispersão ou absorção dos raios gama

ocasionando a diminuição da intensidade, sendo estreitamente ligada à mudança de densidade eletrônica do meio. Assim, quanto mais densa for a rocha, menor a intensidade da radiação no detector, e vice-versa (Nery,2013). Geologicamente, a densidade total da rocha (*bulk density*) está ligada à densidade dos seus minerais formadores e ao volume dos fluidos livres que a contém (Figura 6).

A ferramenta consiste de um patim metálico com fonte radioativa, com nível energético apropriado pressionada contra a parede do poço. A partir dessas medições, pode-se utilizar o perfil de densidade para o cálculo de porosidade total das camadas, que é empregado na verificação de hidrocarbonetos na indústria do petróleo, pois mostra a diferença de densidade de água, óleo e gás (Rider,2000).

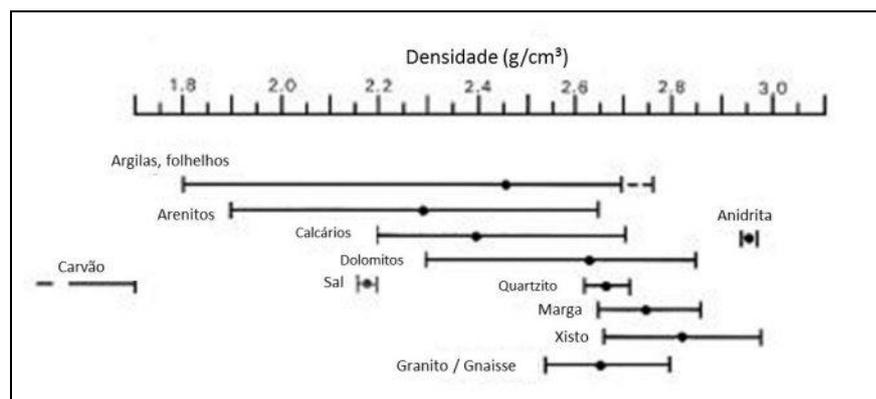


Figura 6 – Relações entre os intervalos do perfil de densidade associados a determinadas classes litológicas. Fonte: Rider (2000).

3.2.4 Perfil de resistividade

Os perfis de resistividade medem a capacidade da formação em relação à passagem de uma corrente elétrica, com unidade de medida em ohms m²/m (Rider, 2000).

A ferramenta é constituída por bobinas transmissoras, onde é aplicada uma corrente constante de alta frequência, e por bobinas receptoras. A corrente aplicada à bobina transmissora gera um campo eletromagnético ao redor da ferramenta, que por sua vez induz

correntes na formação. As correntes induzidas criam um campo eletromagnético secundário, que conduz uma corrente alternada na bobina receptora (Rider, 2000).

Muitas rochas são isolantes, enquanto seus fluidos em seus poros são condutores, já os hidrocarbonetos apresentam características resistivas (Nery, 2013).

A principal utilidade da resistividade para a indústria de petróleo é a busca por hidrocarbonetos, além de fornecer cálculos básicos para análise petrofísica e também interpretação litológica, textural, ensaios de pressão e diferenças faciológicas entre as formações (Nery, 2013).

3.2.5 Perfil neutrão

O perfil Neutrão fornece um registro contínuo da formação em resposta à sua reação pelo bombardeamento rápido de nêutrons de alta energia, sendo partículas neutras que podem penetrar profundamente a matéria, interagindo elasticamente ou inelasticamente com os núcleos dos elementos que compõe as rochas. Com isso, os nêutrons se espalham na formação perdendo energia devido às constantes colisões e produzindo energia que será quantificada pelas ferramentas (Nery, 2013). As ferramentas consistem numa fonte de nêutrons que são induzidas artificialmente e leem a quantidade de hidrogênio presente na formação.

O princípio físico da interatividade das partículas neutras é mais eficiente quando envolve átomos de massas similares, como os de hidrogênio, contabilizados da radiação emitida pela formação (Rider, 2000).

A leitura do perfil de porosidade neutrônica é dada em percentuais de porosidade, sendo maiores para esquerda e menores para a direita, quando analisadas nos perfis (Figura 7).

A porosidade neutrão tem entre suas melhores atribuições a verificação de porosidade e interpretação litológica, consequentemente, na detecção de hidrocarbonetos para a indústria do petróleo.

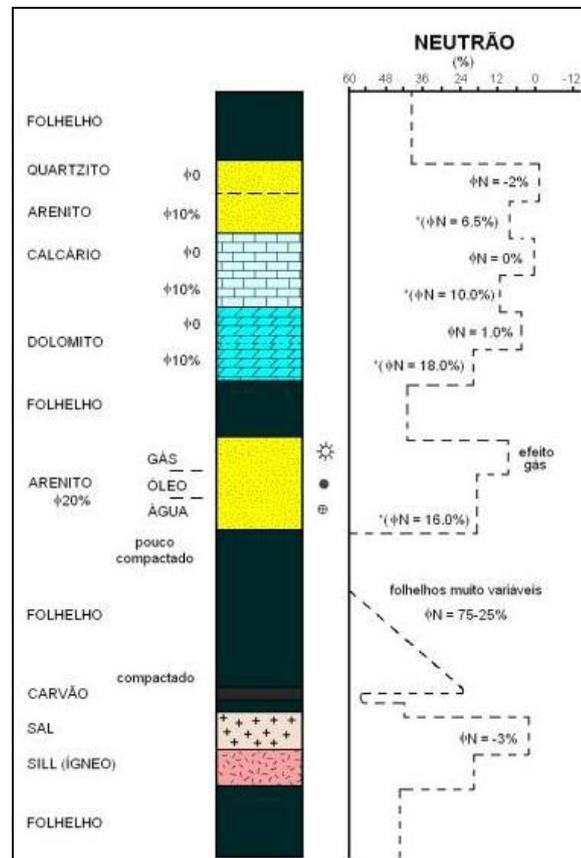


Figura 7 – Relações entre os intervalos do perfil neutrão associados a determinadas classes litológicas. O perfil Neutrão mensura a capacidade da formação geológica em resposta energética na colisão de nêutrons versus hidrogênio, consequentemente, mede a porosidade. Observe que rochas areníticas possuem valores menores que folhelhos, sendo rochas mais porosas. Fonte: modificado de Rider (2000).

3.3 Fluxograma do estudo

O trabalho foi dividido em etapas com a finalidade de organizar a metodologia (Figura 8), primeiramente foram realizadas revisões bibliográficas para o entendimento do arcabouço estratigráfico da bacia e compreensão sobre a análise de perfis geofísicos de poços.

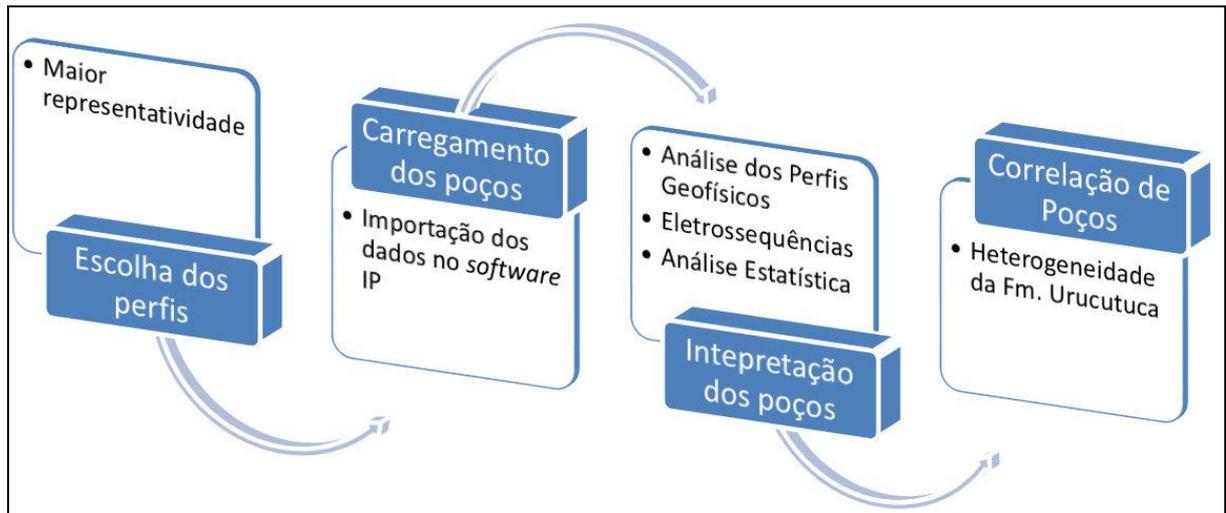


Figura 8 – Fluxograma indicando as etapas de organização da metodologia.

Posteriormente, foi feita uma pré-análise dos perfis compostos (extensão.pdf), averiguando os poços na região *offshore* que melhor representasse a unidade litoestratigráfica foco do estudo.

Após essa etapa, foi realizado carregamento dos poços no *software IP*, através dos arquivos ASCII LAS e DLIS (vide figura 3). O ponto inicial se deu na observação dos perfis, após carregamento, colocando as escalas em formato padrão de leitura, e organizando as trilhas (*tracks*) dos perfis para facilitar a visualização, de acordo com a seguinte hierarquia: Profundidade, Unidades Litoestratigráficas, Raios Gama, Resistividade, Porosidade, Densidade, Sônico, Cronoestratigrafia e Eletrossequências (Figura 9).

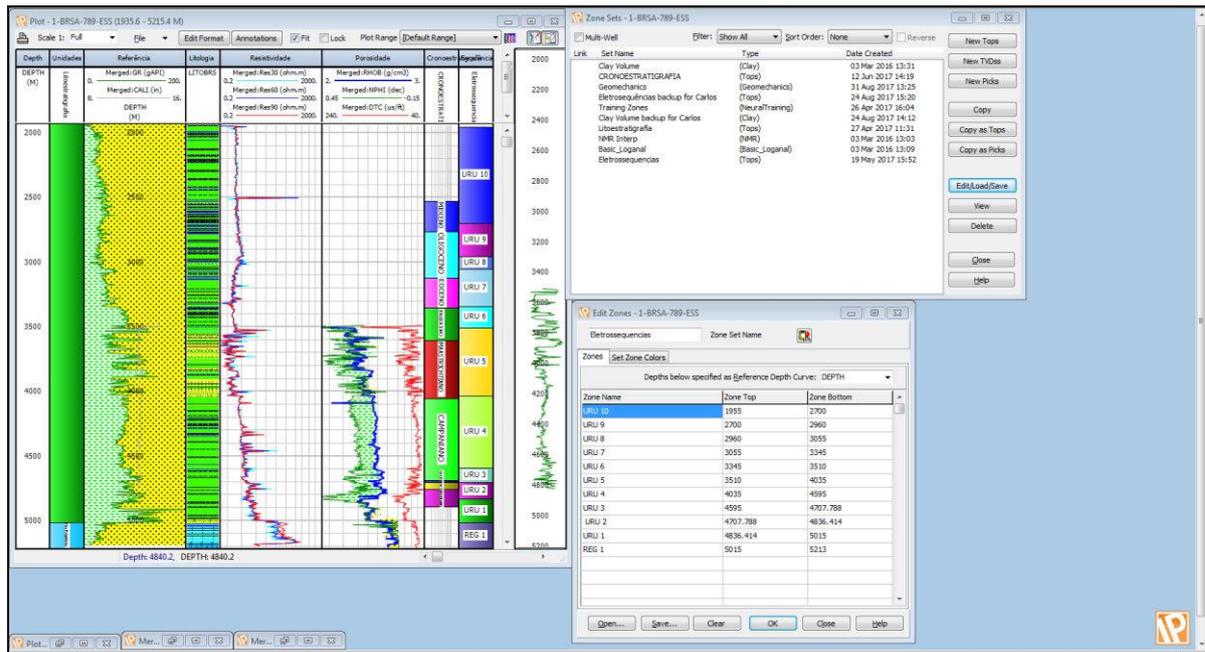


Figura 9 – Input dos dados das eletrossequências após interpretação no *software* IP, mostrando a organização dos *tracks* na seguinte hierarquia: Profundidade, Unidades Litoestratigráficas, Raios Gama, Resistividade, Porosidade, Densidade, Sônico, Cronoestratigrafia e Eletrossequências.

Com isso, observou-se que o poço 4-BRSA-444A-ESS, a partir da profundidade de 2535 m, não possuía os perfis Neutrão, Densidade e Sônico, e o poço 1-BRSA-789-ESS a partir da profundidade de 3490 m, não possuía os perfis Neutrão e Densidade, sendo assim, para esses dois poços, foram utilizados somente os perfis de Raios Gama e Resistividade para análise e interpretação das eletrossequências.

Para tornar efetiva a interpretação, foi escolhido um poço chave do estudo que melhor demonstrasse o comportamento dos perfis em relação à característica da Formação Urucutuca. Os poços 6-BRSA-486-ESS e 4-BRSA-444A-ESS (Apêndice A1 e A2) mostraram-se com maior influência de rochas arenosas, observado no perfil de Raios Gama, e consequentemente com maior influência de fluidos, sendo perceptível no perfil de Resistividade, o que dificulta a interpretação e a correlação entre os poços. Portanto, para este estudo, foi selecionado o poço 1-BRSA-789-ESS, o mais distal da área de estudo, como poço chave, pois mostrou-se efetivo pela grande abrangência de litologias interpretadas como rochas terrígenas, com granulometria

mais fina e com menor influência de fluido, o que facilitou a caracterização das eletrosequências, além de facilitar a correlação entre os poços do estudo. O poço chave 1-BRSA-789-ESS foi o único apresentado nos resultados das interpretações das eletrosequências. Os resultados das interpretações relativos aos outros poços foram apresentados nos apêndices. Com relação à correlação dos poços, os três poços foram apresentados.

A partir do poço chave foi realizada a análise qualitativa dos perfis geofísicos em conjunto. Foi feita uma interpretação visual para caracterizar e delimitar zonas com padrões semelhantes, identificando marcos elétricos, que são marcações que mostram as principais discrepâncias que limitam zonas com padrões distintos. Com isso, identificaram-se as eletrosequências, que, de acordo com Rider (2000), são intervalos definidos a partir de conjuntos de perfis que sejam consistentes e com características suficientemente distintas para separá-las. O objetivo principal de uma eletrosequência é extrair maiores informações de continuidade vertical, deposicional e estratigráfica da unidade litoestratigráfica. Em função disso, foi realizado agrupamento das eletrosequências, possibilitando subdividir a Formação Urucutuca.

Como a interpretação das eletrosequências foi feita de forma visual, constatou-se a necessidade da aplicação da análise estatística, como forma de corroborar e dar consistência aos resultados obtidos.

Há modelos para as análises estatísticas, o modelo supervisionado e o não supervisionado, o primeiro visa alcançar o objetivo com o auxílio de dados litológicos e o segundo é baseado em estatística multivariada, com dados apenas dos perfis geofísicos para a definição dos resultados (Soares, 2005). Para o trabalho, foi utilizado o método não supervisionado, pois não houve disponibilidade dos dados de testemunho e amostra de calha.

A análise estatística foi realizada através de histogramas e gráficos de dispersão (*Cross-plot*). Os histogramas verificam uma determinada frequência de uma única variável, sendo utilizado em todos os perfis geofísicos do estudo, portanto esse recurso foi primordial para a ratificação das eletrossequências. De acordo com Rider (2000), é possível interpretar litologias através dos histogramas (Figura 10a), principalmente arenitos de baixa radioatividade e folhelhos de alta radioatividade, sendo extremamente útil para o presente estudo, já que a característica da Formação Urucutuca são rochas predominantemente arenosas e folhelhos. Já os gráficos de dispersão (*Cross-plot*) correlacionam mais de dois conjuntos de dados, onde uma “nuvem de pontos” pode definir a relação entre duas variáveis ou limites entre elas. De acordo com Rider (2000), esses tipos de gráfico podem ser relacionados de 3 maneiras: (1) de acordo com *cross-plot* de perfis compatíveis, que são medidas que possuem o mesmo parâmetro geofísico, como por exemplo perfis de porosidade; (2) entre perfis incompatíveis, apresentando relação de parâmetros diferentes, e (3) entre dados laboratoriais, como por exemplo comparativo de valores de porosidade medidos em *plugs* ou retirados em porosidade neutra.

No presente trabalho, foram utilizadas variáveis incompatíveis, que são os perfis geofísicos distintos, com o objetivo de analisar a relação entre os mesmos, resultando em interpretações litológicas, e, conseqüentemente, deposicionais, um exemplo é demonstrado na figura 10b. O cruzamento utilizado entre os perfis foram feitos da seguinte forma:

- (A) Perfil Raios Gama X Perfil Sônico;
- (B) Perfil Densidade X Perfil Neutro;
- (C) Perfil de Resistividade X Perfil Raios Gama

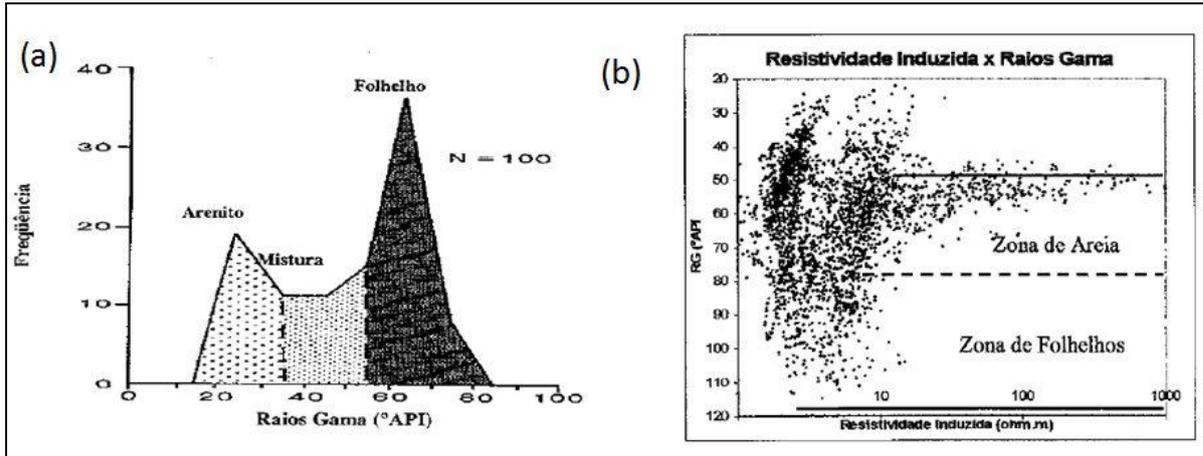


Figura 10 – (a) Histogramas para identificar litotipos, uma forma de auxiliar a interpretação geológica. Nesse exemplo é demarcado as zonas com maiores radioatividades para folhelhos e menores radioatividades para arenitos. (b) Gráfico de zoneamento entre arenitos e folhelhos analisados com o cruzamento dos perfis Raios Gama e Resistividade, tornando mais consistente à interpretação das eletrosequências, pois viabiliza a relação entre dois perfis. Fonte: Rider (2000).

E para analisar a continuidade das eletrosequências interpretadas na área de estudo, mostrar as mudanças deposicionais e, conseqüentemente, observar se existe heterogeneidade na Formação Urucutuca, no sentido *downdip*, foi realizada a correlação entre os três poços estudados. Para a correlação foi utilizado um *datum*, que é um ponto de referência, sendo escolhido o limite superior da Eletrosequência URU 10.

4 Resultados

4.1 Caracterização das eletrossequências

A partir da análise dos perfis compostos e da interpretação dos perfis geofísicos foram identificadas 10 Eletrossequências (Quadro 2), cada uma apresentando peculiaridades, sendo as mesmas descritas abaixo:

Quadro 2 - Identificação das 10 eletrossequências, mostrando a nomenclatura e sigla utilizada.

Nome	Sigla
Eletrossequência URU 1	URU 1
Eletrossequência URU 2	URU 2
Eletrossequência URU 3	URU 3
Eletrossequência URU 4	URU 4
Eletrossequência URU 5	URU 5
Eletrossequência URU 6	URU 6
Eletrossequência URU 7	URU 7
Eletrossequência URU 8	URU 8
Eletrossequência URU 9	URU 9
Eletrossequência URU 10	URU 10

Eletrossequência URU 1 – Apresenta-se com um padrão descontínuo e com grandes oscilações nos perfis (Figura 11). O perfil Raios Gama apresenta um valor médio em torno de 92 °API, demonstrando alta radioatividade. O perfil Resistividade mostra um padrão com diminuição da resistividade da base para o topo, com valor médio, em escala logarítmica, em torno de 5,0 ohm/m. O perfil Densidade possui um *range* de valores entre mínimo de 2,38 g/cm³ e máximo de 2,67 g/cm³, com média de 2,47 g/cm³, caracterizado por uma densidade relativamente baixa. O perfil Neutrão apresenta valores em torno de 0,15 (dec), sendo relativamente alto, já que a escala do perfil Neutrão varia de 0.45 a -0.15 (dec). O perfil Sônico mostra um valor médio em torno de 77 us/ft, que demonstra um tempo de trânsito com velocidades acústicas mais baixas na formação.

O topo da Eletrossequência URU 1 é marcado por uma mudança na resposta da assinatura de todos os perfis analisados, caracterizado como um marco elétrico. Nessa mudança, foi observada uma queda nos Perfis Raios Gama e Resistividade, e um aumento nos perfis Neutrão, Densidade Sônico (Figura 11).

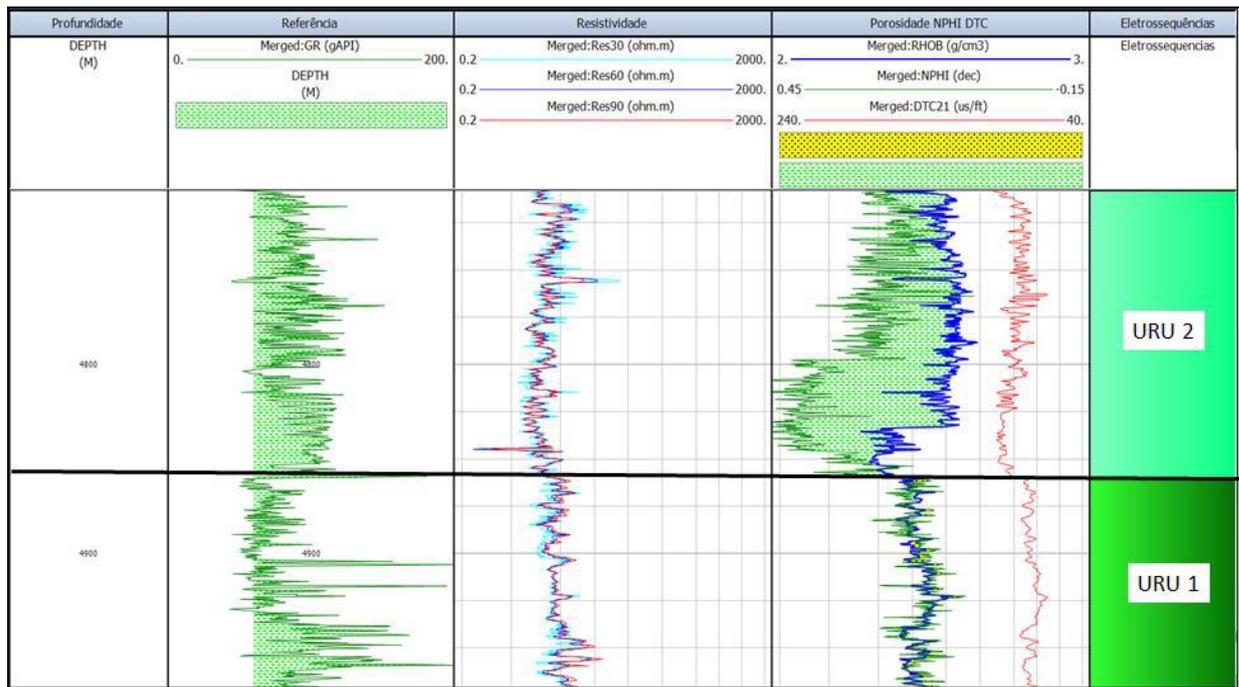


Figura 11 – Interpretação da Eletrossequência URU 1, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. Observe as variações nos perfis, mostrando uma diminuição nos valores dos Raios Gama e Resistividade e um aumento do Densidade, Neutrão Sônico. Note que a linha em preto, associado ao marco elétrico que limita as Eletrossequências URU 1 e 2, mostra essas variações nos padrões dos perfis geofísicos do poço.

Eletrossequência URU 2 – Caracterizada por um padrão distinto com maiores oscilações no topo em relação à Eletrossequência URU 1 (Figura 12). Possui valores médios para o perfil Raios Gama em torno de 88 ° API, significando uma radioatividade ainda alta, porém menor em relação à resposta na URU 1, o que ocorre também no perfil Resistividade, com valores médios em torno de 2.75 ohm/m. Entretanto, no perfil Densidade ocorre o oposto, um leve aumento, possuindo valores médios em torno de 2,54 g/cm³, e um intervalo entre o mínimo 2,27 g/cm³ e máximo em torno 2,65 g/cm³. O perfil Neutrão apresenta valores médios em torno de 0,27 (dec), um valor maior; portanto, apresentando-se com menor porosidade que a

URU 1. O perfil Sônico mostra um tempo médio de 86 us/ft, o que demonstra um tempo de trânsito maior em relação à URU 1.

O topo da Eletrossequência URU 2 é demarcado por um novo marco elétrico, que demonstra diferença em todos os perfis geofísicos com a eletrossequência superior, a URU 3.



Figura 12 – Interpretação da Eletrossequência URU 2, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. A URU 2 mostra um padrão mais descontínuo. Observe a diminuição nos perfis Raios Gama e Resistividade e aumento da Densidade, Neutrão e Sônico. O marco elétrico é realçado pela linha em preto.

Eletrossequência URU 3 – Destaca-se pelo comportamento com poucas oscilações em relação à URU 2 (Figura 13). O perfil Raios Gama possui valores semelhantes à URU 2, com valores médios em torno de 89° API. O que ocorre também com o perfil Resistividade, possuindo valores médios em torno de 1.87 ohm/m. O perfil Densidade apresenta-se com valores médios de 2.57 g/cm³, sensivelmente maior que a URU 2. O perfil Neutrão apresenta um valor médio de 0,25 (dec), tendo uma diminuição em relação à eletrossequência URU 2. Já o perfil Sônico possui um valor médio no tempo de trânsito, em torno de 81 us/ft,

indicando aumento de velocidade da onda compressional em relação à Eletrossequência URU 2.

O topo registra um marco elétrico onde todos os perfis gradam para uma forma mais atenuada e mais homogênea (Figura 13).

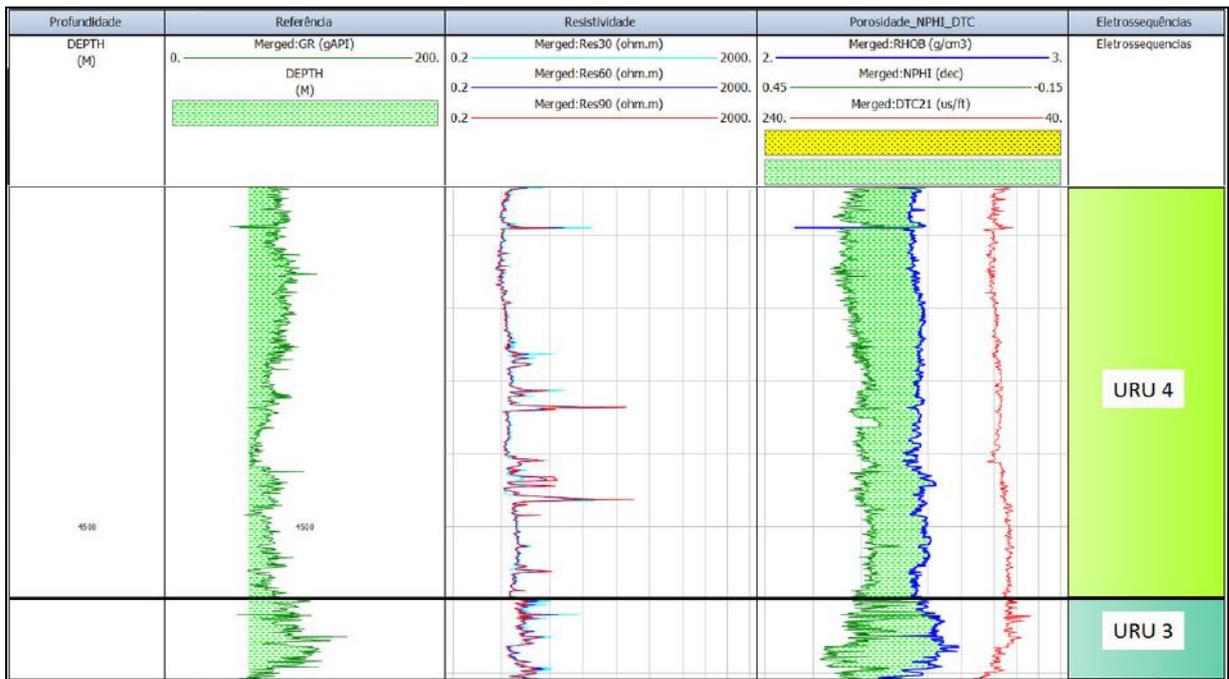


Figura 13 – Interpretação da Eletrossequência URU 3, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. A URU 3 mostra um padrão com menos oscilações. A principal diferença entre a URU 3 e URU 4 é visualmente claro, pelo fato da mudança de comportamento dos perfis, com maior suavização na URU 4, e diminuição dos valores de todos os perfis analisados, mostrando um marco elétrico realçado com uma linha em preto.

Eletrossequência URU 4 – Sua principal característica é o comportamento dos perfis sob maior atenuação, sendo observado um padrão homogêneo e constante durante toda a eletrossequência (Figura 14). O valor médio do perfil Raios Gama encontra-se na faixa de 76° API, sendo menor que a eletrossequência anterior, a URU 3. O que ocorre também com o perfil Resistividade, apresentando um valor médio em torno de 1.43 ohm/m. O perfil Densidade possui valor de 2,51 g/cm³ e o perfil Neutrão apresenta valores em torno de 0,24 (dec), menores que a URU 3. Já o perfil Sônico mostra valor médio de 84 us/ft, ou seja, um tempo menor, e uma velocidade maior.

A transição da URU 4 para URU 5 é a passagem dos perfis atenuados para perfis com forte oscilação, que demonstra a presença de um marco elétrico (Figura 14).

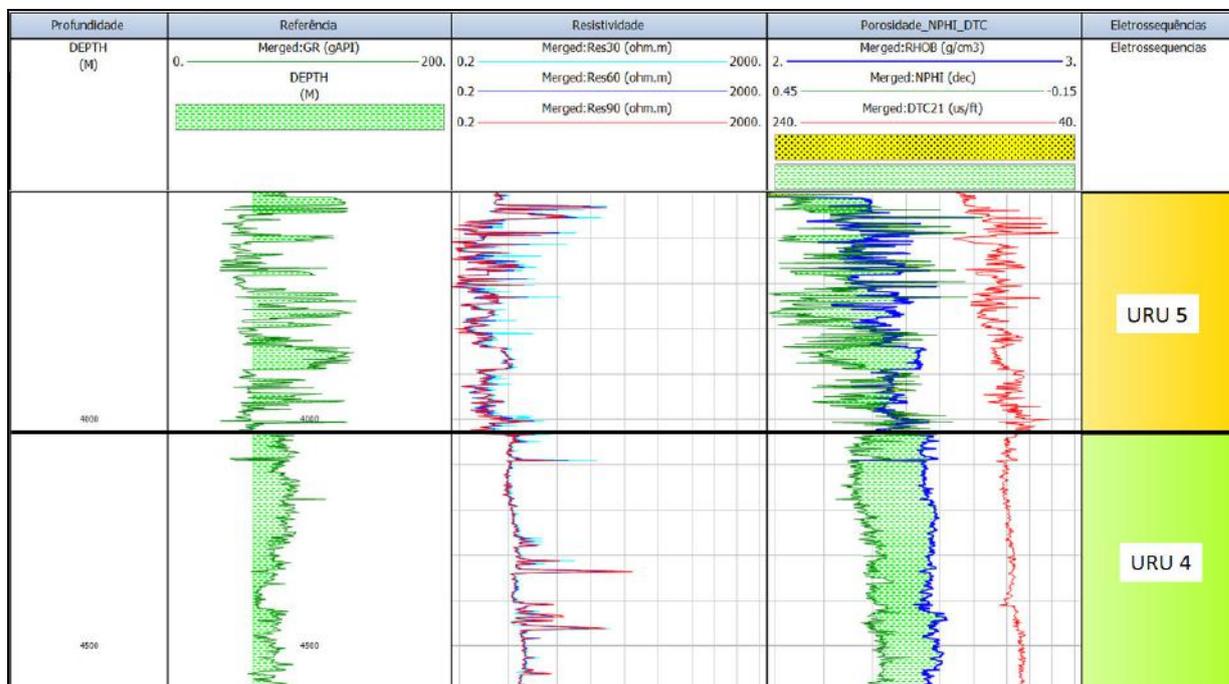


Figura 14 – Interpretação da Eletrossequência URU 4, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. A principal diferença entre a URU 4 e URU 5 é o aumento das oscilações para eletrossequência superior, separados por um marco elétrico, realçado por uma linha em preto, sendo possível visualizar uma diminuição no perfil de Resistividade e Densidade e um aumento nos perfis Sônico, Raios Gama e Densidade.

Eletrossequência URU 5 – A característica essencial da Eletrossequência URU 5 é a heterogeneidade nos perfis em toda zona de abrangência, apresentando-se com forte oscilação, ocasionada pela entrada de rochas terrígenas com maior granulometria, evidenciadas, em todos os perfis, com forte influencia de fluidos, como hidrocarbonetos e água salgada (Figura 15).

O perfil Raios Gama apresenta um valor médio em torno de 75° API, pois na eletrossequência URU 5 há grande entrada de rochas interpretadas como areníticas, que diminuem a média da radioatividade. O perfil Resistividade demonstra uma queda em relação à eletrossequência anterior, mostrando um valor médio é 0.57 ohm/m. O perfil Densidade demonstra um valor médio de 2,36 g/cm³, com diminuição da densidade, o que pode ser

relacionado à presença de fluidos. O perfil Neutrão possui um valor médio de 0.28 ohm/m, maior que a eletrossequência anterior. O perfil Sônico exhibe uma leitura média de 92 us/ft, ou seja, um tempo maior e, conseqüentemente, uma velocidade de ondas sonoras menores, que também está relacionado à presença de fluidos da zona reservatório.

O topo da Eletrossequência URU 5 é demarcado pela transição na discrepância dos perfis, principalmente pelo término da zona reservatório, o que mostra a presença de mais um marco elétrico (Figura 15).

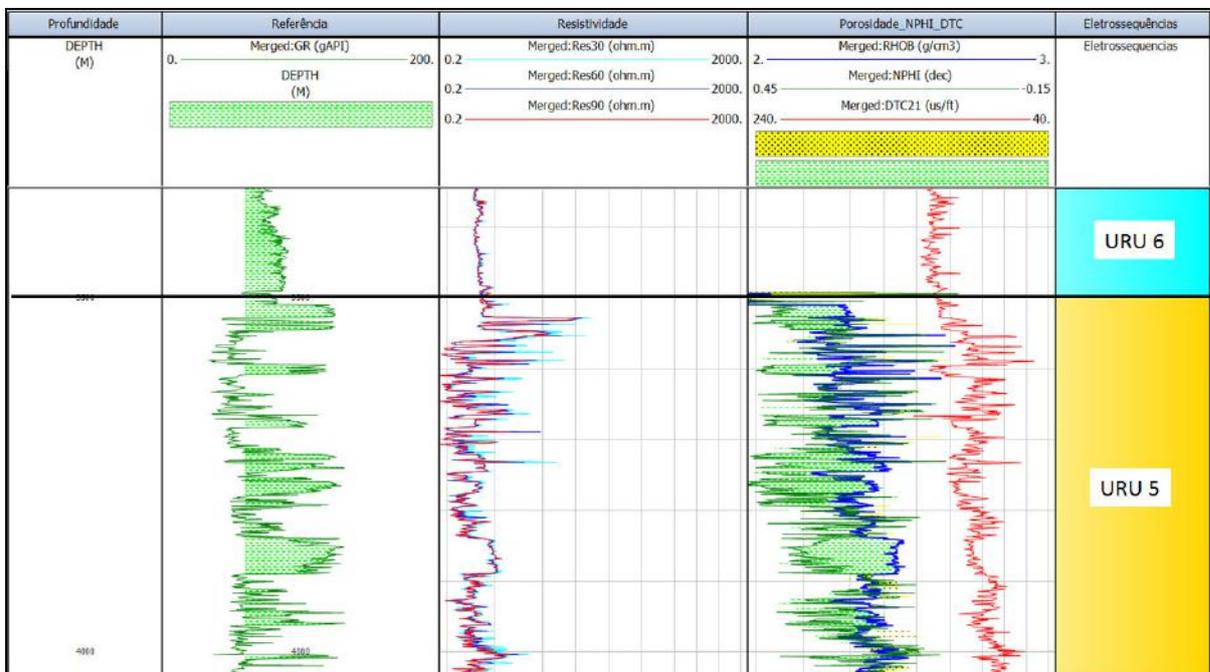


Figura 15 – Interpretação da Eletrossequência URU 5, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. Note que a URU 5 demonstra forte oscilação, e a URU 6 mais atenuados. A eletrossequências URU 6 pode ser interpretada como rochas terrígenas mais finas, por exemplo folhelhos, mostrando o término da zona reservatório e começo de um novo intervalo característico, caracterizado por um marco elétrico, realçado por uma linha em preto.

Eletrossequência URU 6 – A partir da profundidade em torno de 3490 m, no poço chave, que marca a presença da Eletrossequência URU 6, os perfis Neutrão e Densidade não foram perfilados. Com isso, foram utilizados os perfis Raios Gama, Resistividade e Sônico, para a interpretação e correlação das eletrossequências superiores à Eletrossequência URU 5, como a

URU 6, URU 7, URU 8, URU 9. Já a URU 10 será descrita e interpretada a partir dos perfis de Raios Gama, Resistividade e uma pequena parte de sua abrangência pelo perfil Sônico.

A Eletrossequência URU 6 é caracterizada pelo padrão contínuo dos perfis, mostrando menor oscilação em relação à URU 7 (Figura 16). O perfil Raios Gama possui um valor médio em torno de 80 ° API, que mostra uma radioatividade mais elevada, se comparada à eletrossequência anterior (Figura 15). O que ocorre também com o perfil Resistividade, que apresenta um valor médio de 0.64 ohm/m, e com o perfil Sônico, que possui um valor em torno de 118 us/ft.

O topo da URU 6 é demarcado por um marco elétrico, que indica mudanças no comportamento dos perfis analisados, com um padrão indicando aumento da oscilação para a eletrossequência URU 7.



Figura 16 – Interpretação da Eletrossequência URU 6, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. A URU 6 segue padrão contínuo e com menos oscilação em relação a URU 7, sendo a principal diferença visual entre as duas eletrossequências, com diminuição dos valores de todos os perfis geofísicos, caracterizado por um marco elétrico, realçado por uma linha em preto.

Eletrossequência URU 7 – Foi individualizada pelo aumento de oscilação nos perfis, principalmente no Sônico e Resistividade (Figura 17). O perfil Raios Gama mostra uma visível diminuição em relação à Eletrossequência URU 6, com um valor médio de 57 ° API. Em contrapartida, o perfil Resistividade possui um valor médio de 0.66 ohm/m, com um sensível aumento em relação à URU 6. O perfil sônico apresenta-se com grande oscilação e valor médio em torno de 118 us/ft.

A transição da Eletrossequência URU 7 para a URU 8 é marcado pelo contínuo aumento da oscilação e dos perfis Raios Gama, Resistividade e Sônico (Figura 17).

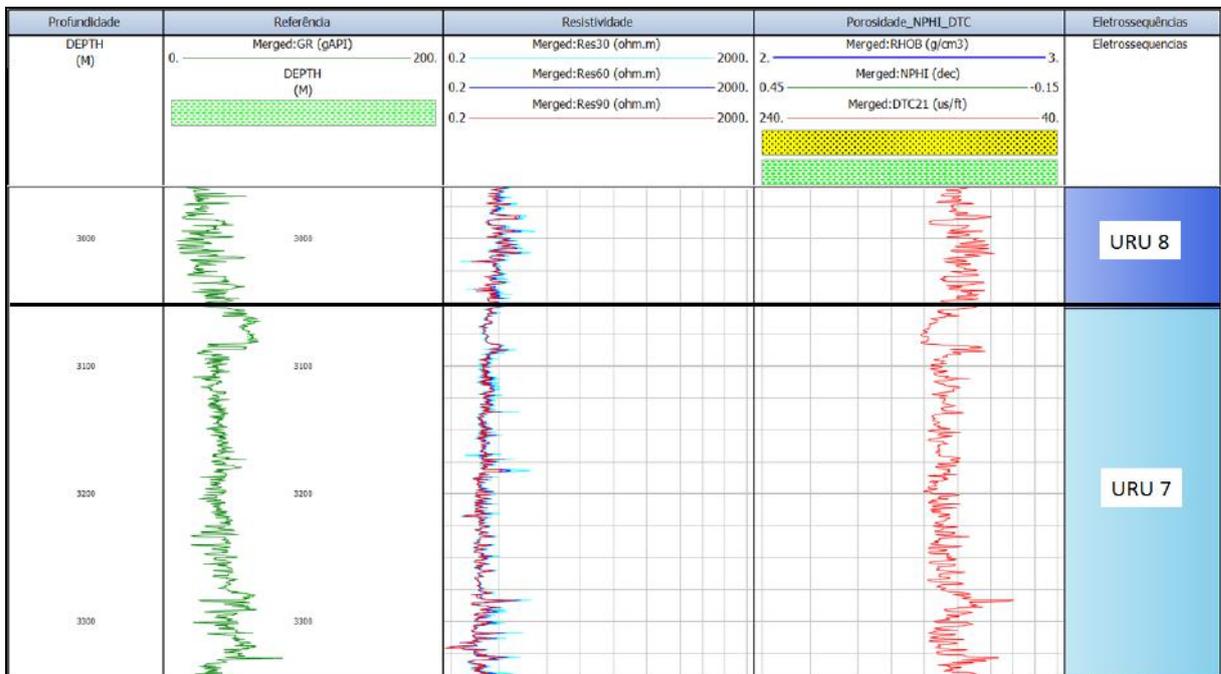


Figura 17 – Interpretação da Eletrossequência URU 7, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. Observe que transição da Eletrossequência URU 7 para a URU 8 é marcado pelo contínuo aumento dos perfis Raios Gama, Resistividade e Sônico, caracterizado por um marco elétrico, realçado por uma linha em preto.

Eletrossequência URU 8 – A característica visual analisada é a contínua oscilação dos perfis como um todo. O perfil Raios Gama apresenta um valor médio de 31 ° API, o que mostra muito contrastante do valor da Eletrossequência URU 7, pela forte diminuição da radioatividade. O perfil Resistividade possui valor médio 0.96 ohm/m, ou seja, superior à

média da eletrossequência anterior. O perfil sônico possui uma leitura média de 106 us/ft, portando, um tempo de trânsito menor que a eletrossequência anterior.

O topo da URU 8 é caracterizado por um marco elétrico que mostra a transição de uma eletrossequência heterogênea para uma eletrossequência homogênea, com os perfis mais atenuados (Figura 18).

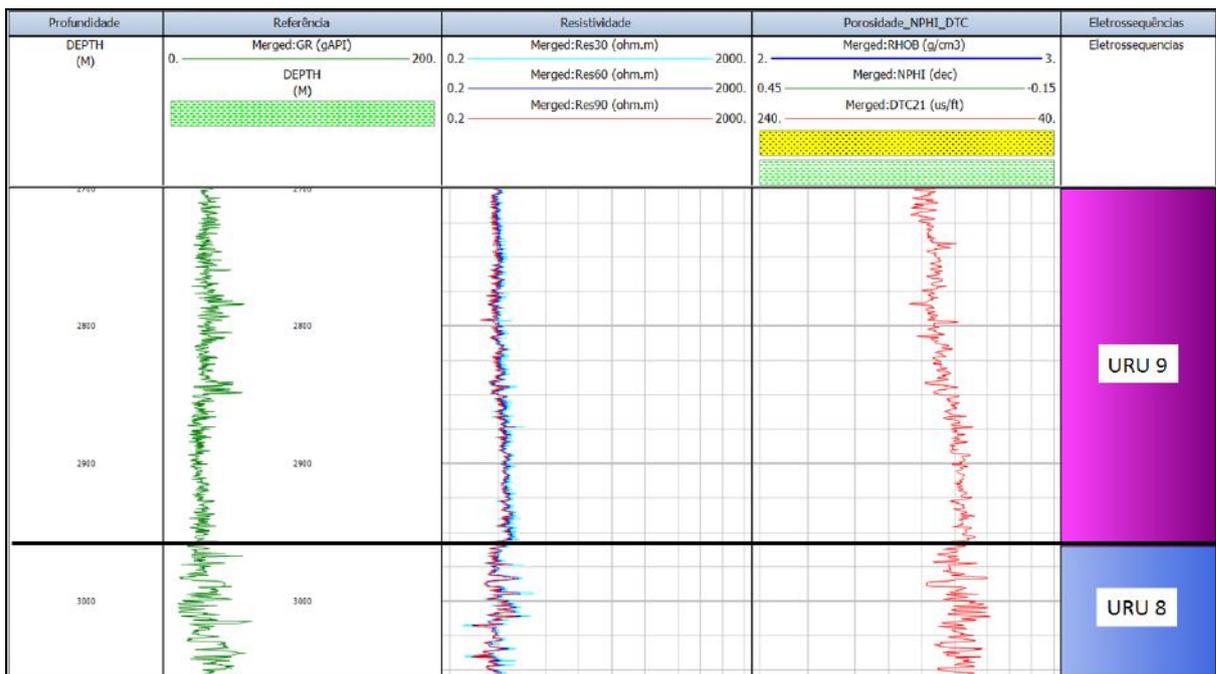


Figura 18 – Interpretação da Eletrossequência URU 8, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. A URU 8 é caracterizada pela diminuição nos perfis Raios Gama e Sônico em relação à URU 9, caracterizado por um marco elétrico, realçado pela linha em preto.

Eletrossequência URU 9 – Mais tênue e contínua durante toda sua profundidade demarcada, e com visível aumento no perfil Sônico (Figura 19). O perfil Raios Gama é sensivelmente menor em relação à eletrossequência anterior, com valor médio de 29 ° API. Já o perfil Resistividade apresenta-se com uma média maior, de 1,09 ohm/m. O perfil Sônico possui valor médio 115 us/ft, com um tempo de trânsito maior que a URU 8.

A mudança no topo da URU 9 é limitada por um marco elétrico, com padrão de perfil Sônico distinto da eletrossequência superior, URU 10, e um aumento nas oscilações dos perfis Raios Gama e Resistividade (Figura 19).



Figura 19 – Interpretação da Eletrossequência URU 9, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. A URU 9 apresenta-se com menos oscilações, além de um progressivo aumento do perfil Sônico e Raios Gama até o limite com a URU 10, e uma leve diminuição do perfil de Resistividade.

Eletrossequência URU 10 – Como já mencionado, a URU 10 será descrita e interpretada a partir dos perfis Raios Gama, Resistividade e pequena parte pelo perfil Sônico, ou seja, onde há presença dos perfis (Figura 20).

O Perfil Sônico mostra um forte aumento no tempo de trânsito se comparado com a Eletrossequência URU 9, em um valor médio de 130 us/ft (Figura 20); porém esse perfil não está por toda a eletrossequência, perfilado apenas na profundidade de 2700 até 2500 m, no poço chave. O perfil Raios Gama possui valor 31.10° API, sendo levemente maior que a URU 9. Em contrapartida, o perfil Resistividade apresenta-se menor, com valor médio de 0.84 ohm/m.

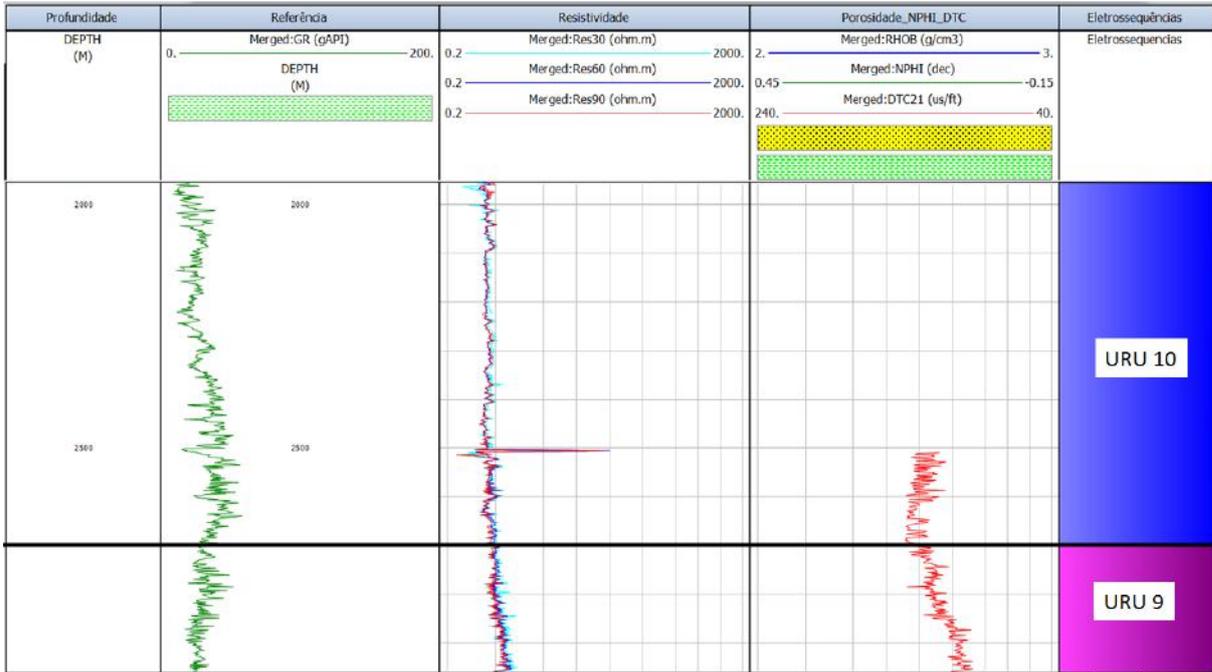


Figura 20 – Interpretação da Eletrossequência URU 10, a partir do poço chave 1-BRSA-789-ESS. Note que a URU 10 tem como característica a diminuição no perfil Raios Gama e Resistividade e o forte aumento no perfil Sônico, em relação à Eletrossequência URU 9. Observe que a URU 10 não possui o perfil Sônico por toda a profundidade referida; com isso, a caracterização até o limite do topo do poço foi realizada pelos perfis Raios Gama e Resistividade.

4.2 Análises das eletrossequências pelos histogramas e *cross-plot*

A análise dos histogramas e dos gráficos de dispersão (*Cross-plot*) para o caso de estudo foi realizada para auxiliar na confirmação da interpretação das eletrossequências, além da determinação de litologias. De acordo com os gráficos de Rider (2000), é possível associar classes litológicas, reconhecendo zonas de intercalação através das características geofísicas, principalmente arenitos e folhelhos. Vale ressaltar, que de acordo com a França *et al.* (2007), a Formação Urucutuca na porção distal, onde o poço chave está localizado, é composta predominantemente por folhelhos, com intercalações de rochas arenosas e margas.

Eletrossequências URU 1 X URU 2. – Os gráficos estatísticos mostram uma sensível diferença na transição entre as Eletrossequências URU 1 e URU 2 (Figura 21).

As Eletrossequências URU 1 e URU 2 apresentam-se muito similares em relação ao *range* de concentração nos perfis analisados, ou seja, aos valores máximos e mínimos observados nos perfis estão presentes nas duas eletrossequências (Figura 21). No entanto, é perceptível a diferença na frequência de ocorrência dessas eletrossequências em *ranges* específicos de cada perfil, a URU 2 com uma frequência de ocorrência muito maior que a URU 1.

Como o *range* de concentração dos perfis é muito similar, foi observada a necessidade da utilização dos gráficos de *cross-plot* para reforçar a mudança entre essas eletrossequências. Com isso, foi utilizado o gráfico Densidade X Neutrão, pois esses perfis demonstram maior dissimilaridade entre as eletrossequências, o que possibilitou na separação em dois conjuntos de pontos visivelmente observados (Figura 21). A URU 1 é caracterizada por valores de porosidade Neutrão com maior concentração de “nuvem de pontos”, entre 0,21 a 0,09 dec, e o perfil Densidade com concentração de valores entre 2,4 a 2,5 g/cm³. Já a URU 2 apresenta uma distribuição de pontos diferenciada, com a mesma continuidade nos valores de Densidade, em torno de 2,6 g/cm³, e apresentando porosidade Neutrão com maior espalhamento de pontos, ou seja, menor concentração no conjunto de pontos, entre os valores 0,45 a 0,21 dec. Portanto, a URU 2 mostrou-se com maior quantidade de rochas densas, com peculiaridades já mencionados na seção anterior. A interpretação final, comparando as duas eletrossequências através da junção das atribuições de todos gráficos selecionados, é dada pelas diferenças entre rochas terrígenas finas, como folhelhos, e com pouca presença de rochas terrígenas mais grossas na URU 1 do que a URU 2, indicando a presença de pelo menos dois tipos de folhelhos distintos, sugerindo mudanças dos argilominerais, o que torna passíveis de serem separados e podem ser resultados de eventos deposicionais distintos na bacia.

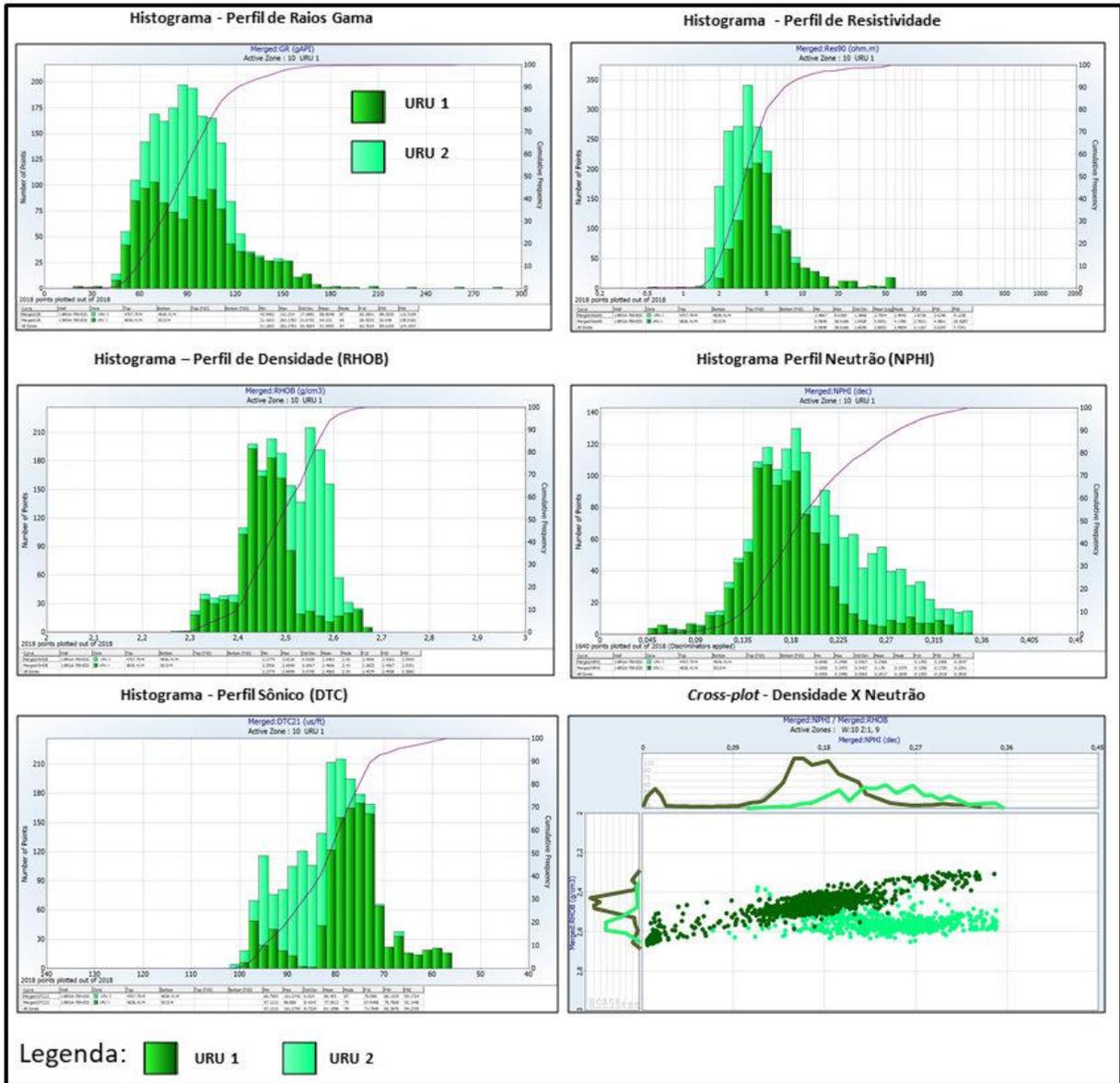


Figura 21 – Interpretação das eletrossequências URU 1 e URU 2, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Densidade X Neutrão. Note a similaridade em relação ao *range* de concentração nos perfis para as duas eletrossequências, e a maior frequência de ocorrência da URU 2 em *ranges* específicos.

Eletrossequências URU 2 X URU 3. – A análise dos gráficos entre os histogramas das Eletrossequências URU 2 e URU 3 mostra características semelhantes entre os *ranges* de valores em todos os perfis; entretanto, a URU 3 apresenta uma frequência de ocorrência maior no mesmo intervalo (Figura 22), possibilitando corroborar sua distinção em relação à URU 2. Todavia, necessitou-se utilizar o gráfico *cross-plot* Densidade x Neutrão, afim de demonstrar de forma mais nítida as diferenças entre as eletrossequências (Figura 22), partindo do

princípio que esses dois perfis mostrariam as diferenças litológicas. Entretanto, não houve uma resposta significativa, em razão de que os pontos de ambas eletrossequências se concentravam de forma aproximada, sem a presença de anomalia, desassociando as mesmas.

Deste modo, foi interpretado sutis diferenças litológicas entre a URU 2 e URU 3, através dos histogramas somados às descrições na interpretação visual dos perfis, ambas caracterizadas por folhelhos radioativos; porém, a característica litológica da Eletrossequência URU 2 apresenta-se com maior resistividade e menor densidade em relação à URU 3. A influência de rochas com maior granulometria é relativamente semelhante entre as duas eletrossequências, pois como foi dito anteriormente os intervalos são similares para todos os perfis.

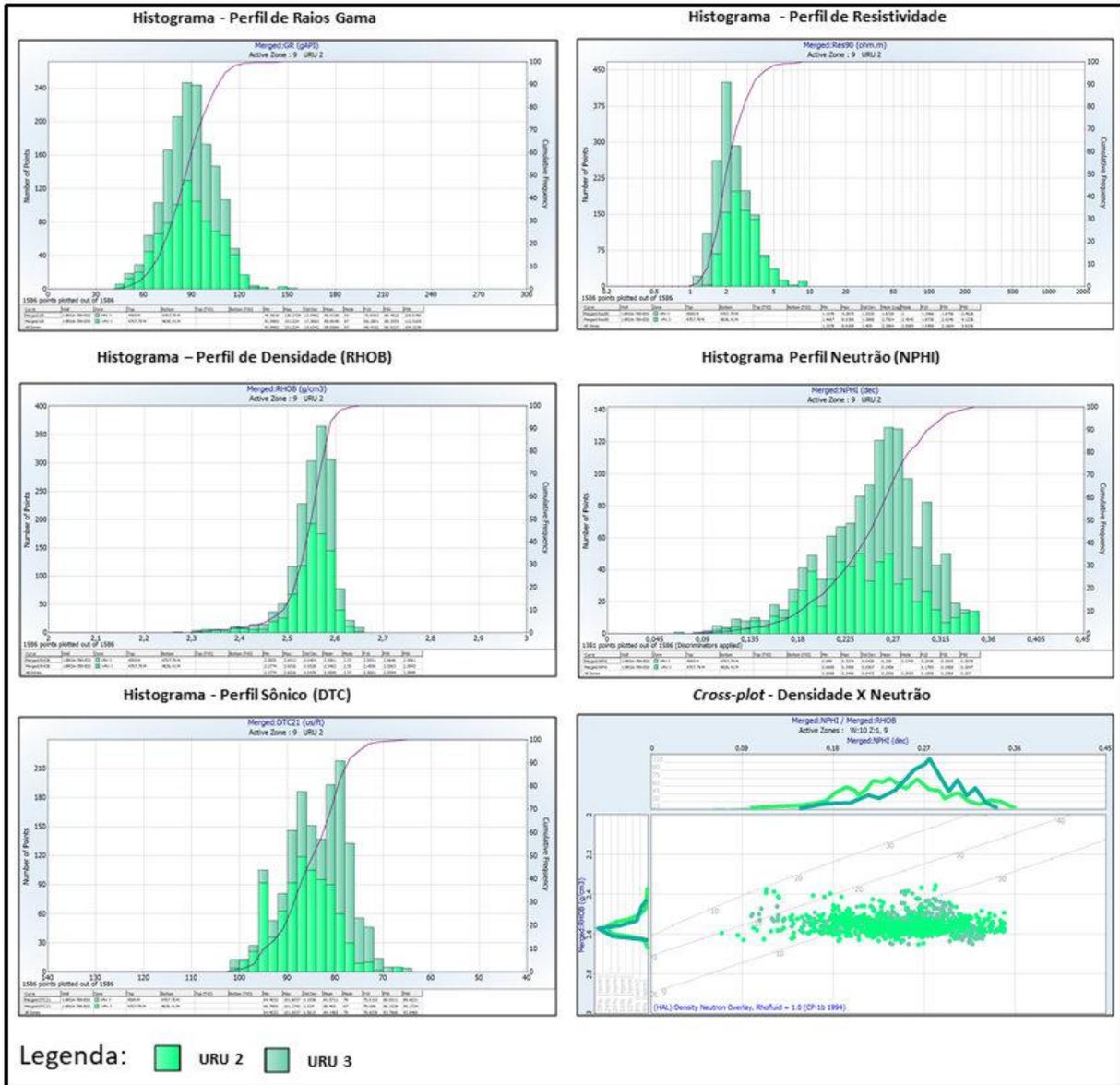


Figura 22 – Interpretação das eletrossequências URU 2 e URU 3. A partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Densidade X Neutrão, que comparam as Eletrossequências URU 2 e URU 3, mostrando diferenças nas concentrações em determinados *ranges* de valores, confirmando a diferença entre as mesmas. Na parte inferior à direita da figura, é exemplificado o gráfico de dispersão *cross-plot* que mostrou pouca clareza na difinicação entre a URU 2 e URU 3, não apresentando resultado significativo.

Eletrossequências URU 3 X URU 4. – A discrepância entre as Eletrossequências URU 3 e URU 4 é efetivamente confirmada através dos gráficos de histogramas por meio dos perfis geofísicos, somado ao gráfico de dispersão *cross-plot*, entre Raios Gama e Neutrão, que esclarece maiores diferenças litológicas que não foram possíveis de verificar apenas nos gráficos de histogramas (Figura 23).

Desta forma, o histograma do perfil Raios Gama possibilitou mostrar ao mínimo duas classes litológicas distintas. A Eletrossequência URU 4 apresenta menores valores de radioatividade, com uma concentração significativa entre 60 a 90° API, já a URU 3 mostra valores de radioatividade com distribuição de frequências relativamente mais homogênea, sem grandes concentrações, com os intervalos entre 60 a 120° API.

O histograma do perfil Resistividade também demonstrou que a Eletrossequência URU 3 é predominantemente mais resistivo e com menores concentrações no *range* entre 1 a 4 ohm/m, em relação à URU 4, que apresenta forte concentração de frequências entre valores 1 a 1,3 ohm/m, corroborando a separação entre essas as eletrossequências URU 3 e URU 4.

O gráfico de *cross-plot* exalta a diferença entre as Eletrossequências URU 3 e URU 4, onde a primeira predomina uma característica mais resistiva e menos radioativa (Figura 23). Com isso, é possível interpretar e separar duas classes litológicas distintas, ambas com predomínio de rochas terrígenas finas, folhelhos; porém, a URU 3 possui um maior conteúdo de rochas radioativas e menos resistivas.

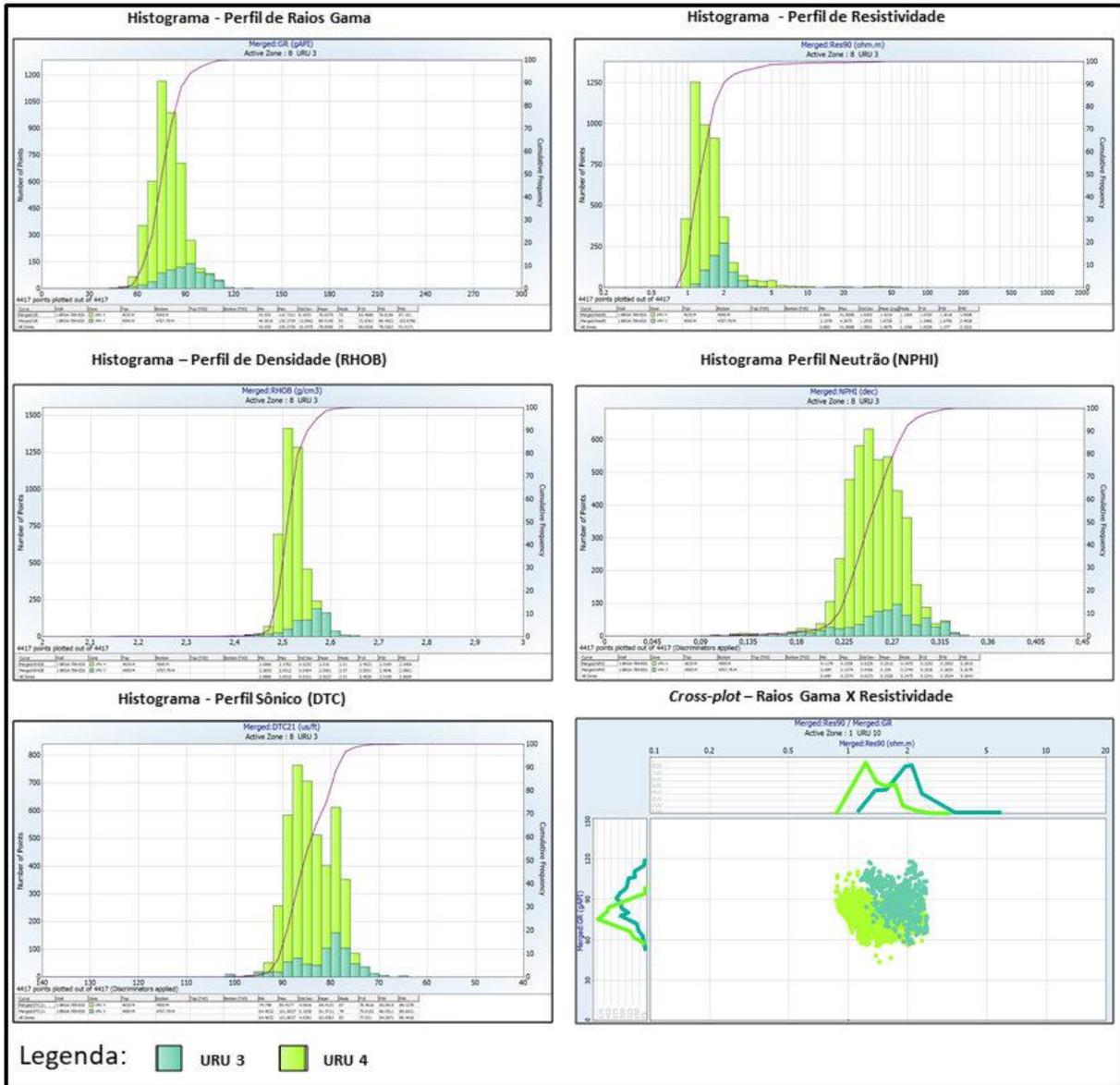


Figura 23 – Interpretação das Eletrossequências URU 3 e URU 4, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Resistividade. Note que todos os perfis demonstraram diferenças nas concentrações de frequências nos histogramas, e no gráfico *Cross-plot*, que apresentam dois grupos de pontos destoantes, corroborando as diferenças entre essas eletrossequências.

Eletrossequências URU 4 X URU 5. – As Eletrossequências URU 4 e URU 5 possuem grandes diferenças, pois há uma forte interferência de rochas areníticas, mesmo assim, analisando o comportamento dos perfis geofísicos, principalmente radioatividade, indicam que as rochas mais finas interpretadas na eletrossequência URU 5, apresentam maiores valores de radioatividade, exibindo claras diferenças entre a URU 4 e URU 5; portanto, a separação entre elas foi efetivamente confirmada através dos gráficos estatísticos.

Os histogramas para o perfil Raios Gama demonstraram que a Eletrossequência URU 5 possui uma grande variação de radioatividade em seu intervalo, com valores entre 30 a 140 °API, e maior frequência para menores radioatividades em torno de 50 ° API. Já a Eletrossequência URU 4 apresentou *range* entre 60 a 100 ° API, com grande frequência para o valor 75 ° API (Figura 24).

Para o perfil Resistividade, observou-se que a Eletrossequência URU 5 é menos resistiva em comparação à URU 4, isso mostra mais um parâmetro de confirmação da discrepância entre essas eletrossequências. Essa mudança sugere a presença de fluidos não resistivos, como por exemplo, a água salgada. Entretanto, é observado que há, em menor número, valores mais altos de resistividades, sugerindo a presença de fluido mais resistivo, como hidrocarboneto.

O perfil Densidade mostrou que a classe litológica da URU 4 é claramente mais densa que a URU 5, sendo visível a diferença entre as eletrossequências nos gráficos estatísticos.

O perfil Neutrão mostra grande dispersão, com pouca ou nenhuma tendência para uma determinada frequência na Eletrossequência URU 5, caracterizando-se por uma maior variação, desde muito baixa 0,09 dec, até alta 0.45 dec. Já a URU 4 apresenta uma tendência de frequências para intervalos em torno de 0,225 a 0,27, possibilitando confirmar diferenças em relação à Eletrossequência URU 5.

O perfil Sônico também indica grande diferença entre essas eletrossequências. A URU 5 dispersa entre intervalos de alto tempo de trânsito, 120 us/ft, e baixo tempo de trânsito, 55 us/ft. A URU 4 se mantém com uma acumulação de frequência em determinado intervalo, possuindo valores entre 95 a 80 us/ft.

Para exibir as dissimilaridades em relação às URU 4 e URU 5, foi realizado um gráfico de dispersão *cross-plot*, que leva em conta dois perfis que distinguem de forma clara essas duas eletrossequências, o Raios Gama e Resistividade. Com isso, foi possível mostrar a diferença entre ambas, com a URU 5 claramente dispersa, com maior variação litológica, e a URU 4 concentrada em valores que marcam uma característica mais radioatividade e resistiva (Figura 24).

Após a análise de todos os gráficos, foi realizada uma breve interpretação litológica para a Eletrossequência URU 4 e URU 5. A URU 4 apresenta características de rochas terrígenas mais finas, principalmente folhelhos com radioatividade média a alta, com velocidades acústicas mais altas. Já a URU 5 é predominantemente arenitos turbidíticos, com intercalações de folhelhos altamente radioativos.

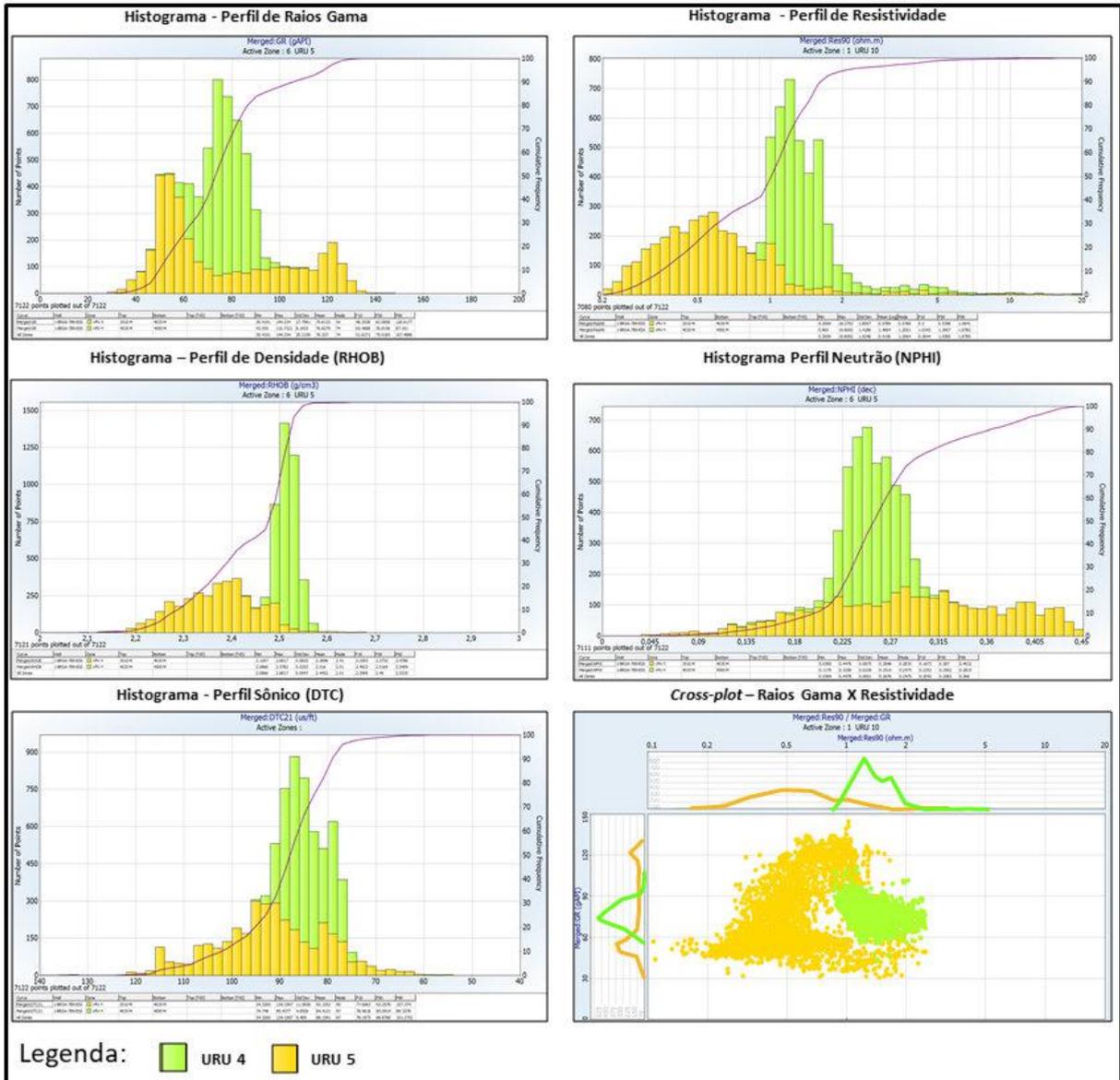


Figura 24 – Interpretação das Eletrosequências URU 4 e URU 5, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Resistividade. Os gráficos estatísticos dos perfis geofísicos corroboraram a diferença entre as Eletrosequências URU 4 e URU 5. Além disso, foi possível interpretar litologias.

Eletrosequências URU 5 X URU 6. – A disparidade entre as Eletrosequências URU 5 e URU 6 é confirmada pelos perfis geofísicos Raios Gama e Sônico, através dos gráficos de histogramas e gráfico *cross-plot* Raios Gama X Sônico. O perfil Resistividade não auxiliou na descrição entre essas duas eletrosequências, pois a mesma não mostrava diferenças relevantes nos gráficos. Vale destacar, que a partir desse ponto, entre URU 5 e URU 6, os perfis Neutrão

e Densidade não estão mais disponíveis, pois não houve perfilagem entre as profundidades de 3490 a 1900 m (Figura 25).

O histograma do perfil Raios Gama da Eletrossequência da URU 5 apresenta uma grande dispersão nos intervalos, desde baixos até altos valores de radioatividade, implicando em uma interpretação com mais de uma classe litológica associada. A URU 6 apresenta uma característica intrínseca a um determinado intervalo, com concentração de frequências significativas nos intervalos 70 a 80° API, portanto mais uma confirmação da diferença entre essas eletrossequências.

Em relação ao perfil Sônico, a Eletrossequência URU 6 apresentou-se com uma distribuição de frequência concentrada em altos valores de tempo de trânsito, entre 125 a 120 us/ft, conseqüentemente menores velocidades acústicas. Já a URU 5 possui um *range* de valores desde mais baixos a mais altos, com valores entre 140 a 40 us/ft. Portanto, a diferença entre os perfis Sônico dessas eletrossequências é notável, certificando a separação entre as mesmas.

O gráfico de dispersão *Cross-plot* ilustrou a comparação entre a URU 5 e URU 6 de forma mais nítida, através do cruzamento dos perfis de Raios Gama e Sônico, e foi observado uma dispersão na concentração de pontos de cada uma delas (Figura 25), mostrando diferenças litológicas, validando a interpretação visual realizada anteriormente.

A interpretação geológica, após a descrição dos gráficos, sugere que a URU 6 apresenta uma predominância de rochas com granulometria mais fina e de baixa velocidade acústica, e baixa resistividade. A URU 5 demonstrou uma característica de rochas terrígenas mais grossas, interpretadas como turbiditos, além de rochas terrígenas com granulometria mais fina de alta radioatividade.

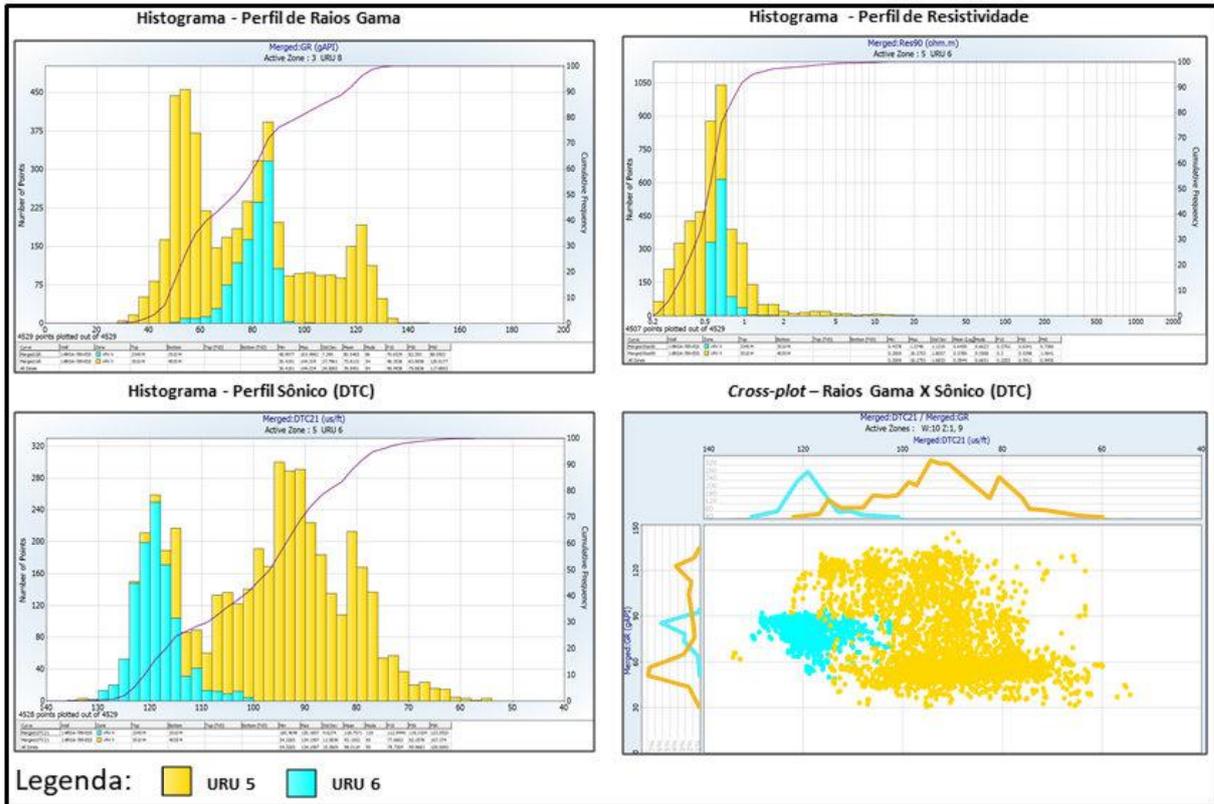


Figura 25 – Interpretação das Eletrossequências URU 5 e URU 6, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Sônico. Os histogramas e o *cross-plot* evidenciaram a discrepância entre as Eletrossequências URU 5 e URU 6. Com a URU 6 apresentando características nos perfil Raios Gama e Sônico restritos a um dado *range* de frequência, sendo caracterizados por rochas finas, possivelmente folhelhos. Já a URU 5 mostrou-se dispersa num grande *range* de frequências, com arenitos de menores radioatividade e folhelhos de alta radioatividade.

Eletrossequências URU 6 X URU 7. – Foram identificadas distinções entre essas eletrossequências através dos histogramas do perfil Raios Gama e do gráfico de dispersão *Cross-plot*, que possibilitou confirmar a separação entre a URU 6 e URU 7. Já os perfis Sônico e Resistividade não apresentaram uma resposta que pudesse auxiliar na confirmação das interpretações (Figura 26).

O perfil Raios Gama mostrou que a Eletrossequência URU 6 possui uma radioatividade com o *range* aproximado entre 35 a 70 ° API, e a URU 7 com radioatividade nos intervalos entre 60 a 95 ° API. Desse modo, é possível confirmar que as eletrossequências URU 6 e URU

7 possuem características distintas, corroboradas através da diferença nos valores de radioatividade.

O gráfico *cross-plot* ressaltou a disparidade entre URU 6 e URU 7, com os cruzamentos dos perfis geofísicos que mais demonstraram serem distintos, os Raios Gama e o Sônico. Como resultado, foi perceptível a separação entre duas “nuvens” de pontos que mostraram as desigualdades entre as eletrosequências, confirmando mais vez a distinção entre elas.

De acordo com gráficos analisados, foram sugeridas interpretações litológicas para as eletrosequências (Figura 26). A URU 6, como mencionado na comparação entre a Eletrosequência URU 5 x URU 6, é caracterizado como rochas terrígenas finas de baixa velocidade acústica, com baixa resistividade. Em contraste, a URU 7 representa litologias de rochas terrígenas com baixa radioatividade, e provavelmente intercalações de classes litológicas com uma granulometria maior.

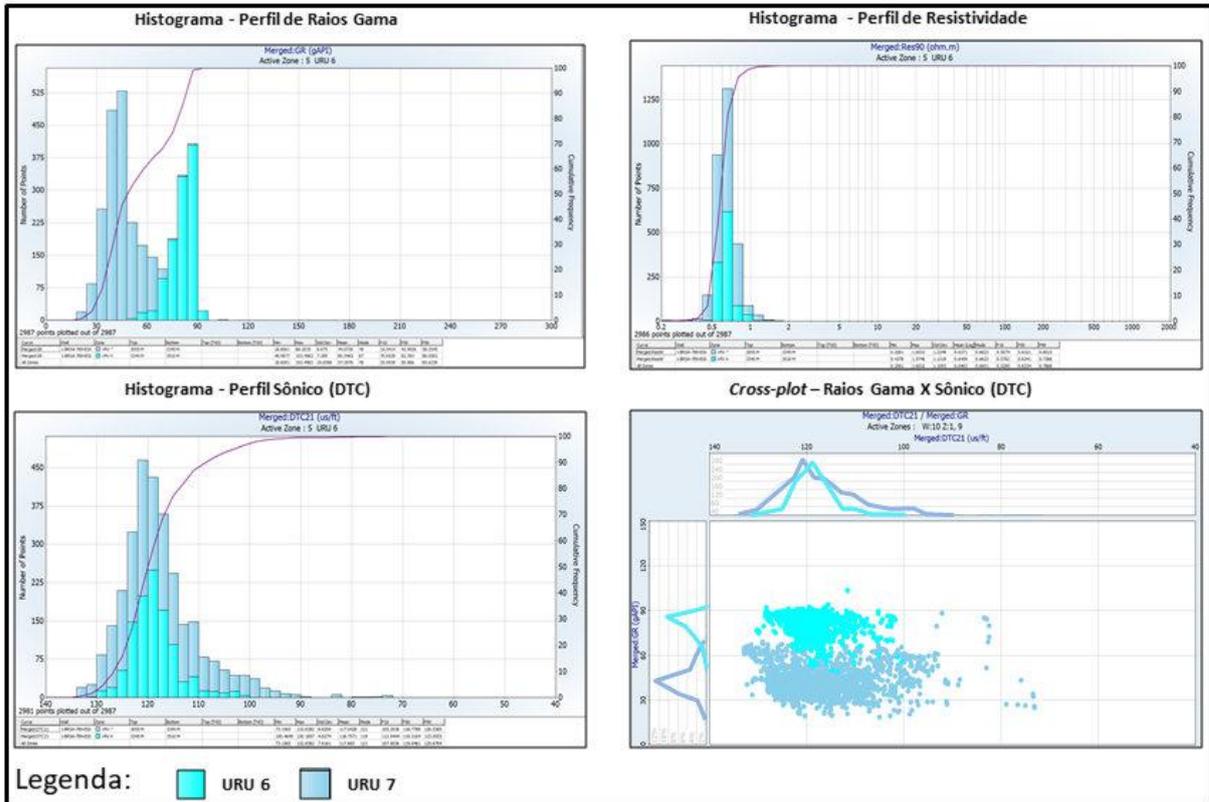


Figura 26 – Interpretação das Eletrosequências URU 6 e URU 7, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Sônico. Os gráficos ratificaram a diferença entre as Eletrosequências URU 6 e URU 7. O perfil geofísico que auxiliou na interpretação foi o Raios Gama. O gráfico *cross-plot* aprimorou a separação entre as eletrosequências, através da diferenças entre duas “nuvens” de pontos bem distintas entre si.

Eletrosequências URU 7 X URU 8. – Os gráficos estatísticos dos perfis Raios Gama, Sônico e Resistividade corroboraram as dissimilaridades entre as eletrosequências URU 7 e URU 8.

O histograma do perfil Raios Gama evidenciou que a Eletrosequência URU 7 possui maior frequência de ocorrência para um determinado *range*, com valores aproximados em torno de 45 ° API, já a URU 8 apresentou maiores frequências para maiores intervalos, com valores entre 10 a 60 ° API (Figura 27). Deste modo, o histograma do perfil Raios Gama mostrou-se eficaz para confirmar as diferenças entre as eletrosequências.

O histograma de perfil Resistividade mostrou que a URU 7 é menos resistiva que a URU 8, com a distribuição de valores de cada eletrossequência bem definidas e separadas no gráfico (Figura 27).

O histograma do perfil Sônico também corroborou a discrepância entre a URU 7 e URU8, com a frequência de valores com tempo de trânsito maior para a URU 7, e menores valores para a URU 8.

Para complementar as informações estatísticas, foi feito o gráfico *cross-plot*, com o cruzamento entre Raios Gama e Resistividade, que possibilitou melhorar as interpretações (Figura 27). Desta forma, ficou nítido que a eletrossequência URU 7 apresentou uma densidade de pontos para maiores radioatividades e menores resistividades em relação à URU 8.

Analisando as descrições dos gráficos estatísticos foi possível interpretar litologias para cada eletrossequência. A URU 7 pode ser caracterizada por rochas finas, porém com diminutas intercalações de rochas mais grossas, ambas de baixa velocidade acústica. Já a URU 8 é caracterizada com a predominância de rochas finas, com maiores radioatividades, e menores classes de rochas grossas, menos radioativas e mais resistivas, em relação à URU 7.

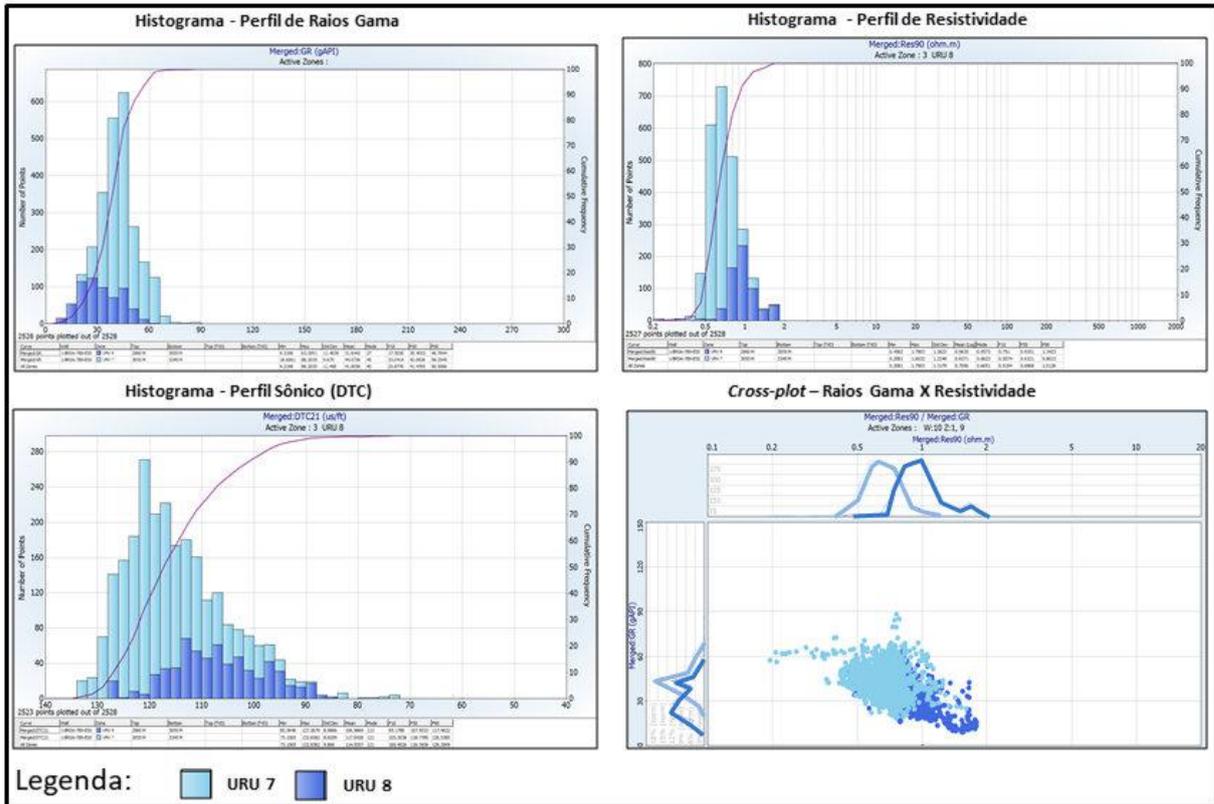


Figura 27 – Interpretação das Eletrossequências URU 7 e URU 8, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Resistividade. Os gráficos evidenciaram diferenças em todos os perfis geofísicos, confirmando a separação entre as Eletrossequências URU 7 e URU 8, sendo notada a diferença na concentração valores de cada eletrossequência.

Eletrossequências URU 8 X URU 9. – As principais diferenças observadas através dos gráficos estatísticos, ficaram marcadas em todos os perfis atribuídos para essas eletrossequências.

Os histogramas do perfil Raios Gama apresentaram um *range* semelhantes para ambas eletrossequências, com valores aproximados entre 10 a 60 ° API; porém, com concentrações de frequências diferentes. A URU 9 exibiu uma superioridade na distribuição de frequências para os valores de radioatividade 30 ° API, em relação à URU 8 (Figura 28).

O gráfico do histograma do perfil Resistividade apresentou a mesma característica do histograma do perfil Raios Gama, com a URU 9 indicando maior frequência em um

determinado intervalo, com valores em torno de 1 a 1,5 ohm/m, e a URU 8 com menor frequência para o mesmo intervalo.

Em contrapartida o histograma do perfil Sônico sinalizou maiores disparidades entre as eletrossequências, com a URU 9 possuindo frequência de valores com maior tempo de trânsito em relação à URU 8, confirmando a separação entre as mesmas (Figura 28).

Além dos gráficos de histogramas, também foi gerado o gráfico *cross-plot*, entre Raios Gama e Sônico, para enfatizar a discrepância entre as eletrossequências. Com isso, ficou claro que a URU 8 retrata menores tempo de trânsito em relação à URU 9.

Unindo todas as informações descritivas, foi possível interpretar litologicamente as eletrossequências. A URU 8 é caracterizada com predominância de rochas finas e menor tempo de trânsito, com baixa radioatividade, possivelmente folhelhos e margas. Já URU 9 é predominantemente caracterizada por classes de rochas mais finas com intercalações de rochas com maior variabilidade granulométrica, sugerindo rochas como margas e calcilutitos, com maiores resistividades.

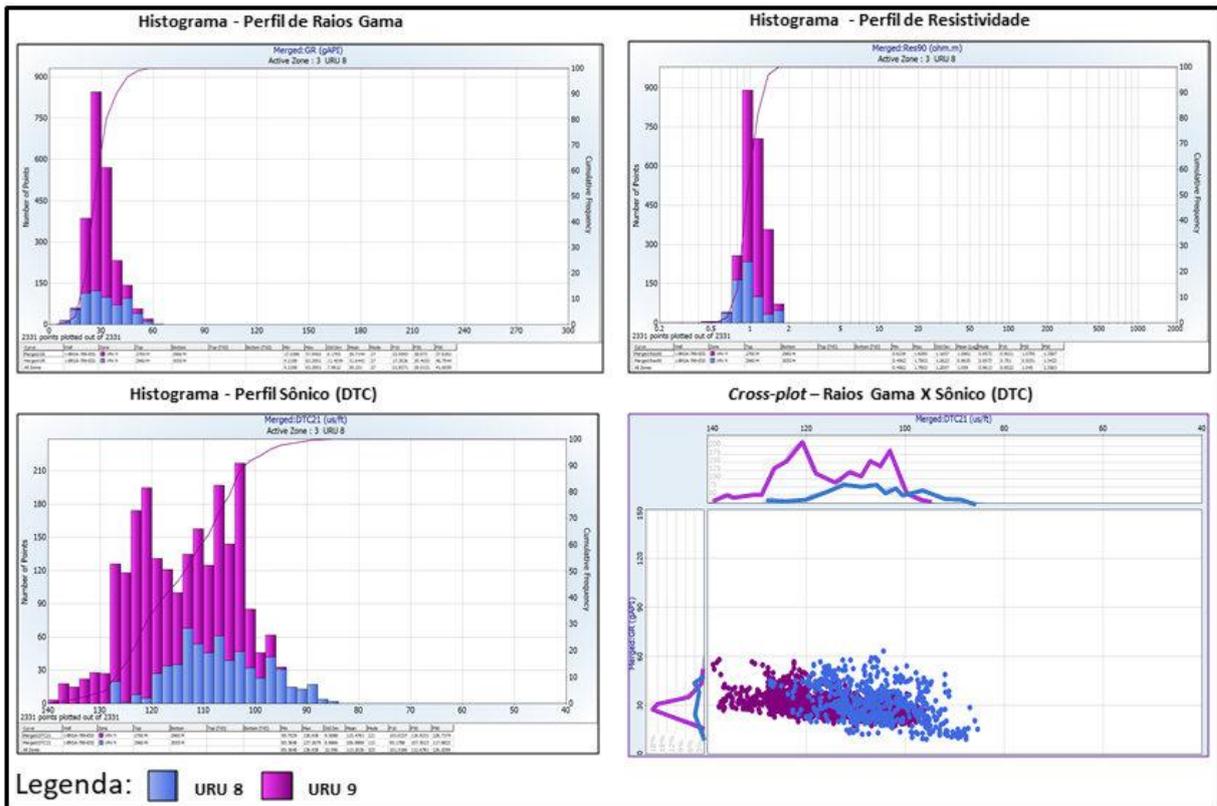


Figura 28 – Interpretação das Eletrossequências URU 8 e URU 9, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Sônico. Através dos histogramas e o gráfico de dispersão *cross-plot* dos perfis geofísicos, foi possível confirmar a diferença entre as eletrossequência URU 8 e URU 9, principalmente pela diferença do tempo de trânsito exibido pelo perfil Sônico, com URU 8 possuindo menores valores.

Eletrossequências URU 9 X URU 10. – Os gráficos de histograma dos perfis de Raios Gama, Resistividade e Sônico, e o gráfico de dispersão *cross-plot* entre Raios Gama e Sônico, foram determinantes para certificar a distinção entre as eletrossequências URU 9 e URU 10.

O histograma do perfil de Raios Gama confirmou a diferença entre as eletrossequências, através da maior concentração de frequências para a URU 10 em relação à URU 9, sob o mesmo intervalo 10 a 60 ° API, sendo plausível a separação entre as mesmas (Figura 26).

O histograma do perfil de Resistividade evidenciou que Eletrossequência URU 10 é sensivelmente menos resistiva, com maiores frequências de valores entre 0,5 a 1 ohm/m, em oposição à URU 9, que mostrou valores de resistividade entre 1 a 2 ohm/m.

O histograma do perfil Sônico relatou que a URU 10 apresenta maiores valores no tempo de trânsito, em torno de 120 a 140 us/ft, e a URU 9 apresenta valores menores de tempo de trânsito, com valores entre 120 a 95 us/ft.

A descrição do gráfico de dispersão *cross-plot* evidencia as características de cada eletrossequência, URU 9 e URU 10, que exibem uma separação na densidade de pontos no cruzamento entre os perfis de Raios Gama e Sônico. A URU 9 apresenta uma característica com valores menores no tempo de trânsito do perfil Sônico, conseqüentemente maiores velocidades acústicas (Figura 29).

A interpretação litológica pode ser concluída após a descrição dos gráficos estatísticos, sugerindo que a eletrossequência URU 9, como já mencionado no tópico anterior, é caracterizada por rochas de duas classes litológicas, possivelmente margas e arenitos, atribuídas pela baixa radioatividade e mais alta resistividade. Já a URU 10 com menores radioatividades, sugerindo maiores intercalações de sedimentos com granulometria maior, sendo diminutas camadas de rochas arenosas, ou uma mistura de rochas carbonáticas com siliciclásticas, com menor granulometria, como margas.

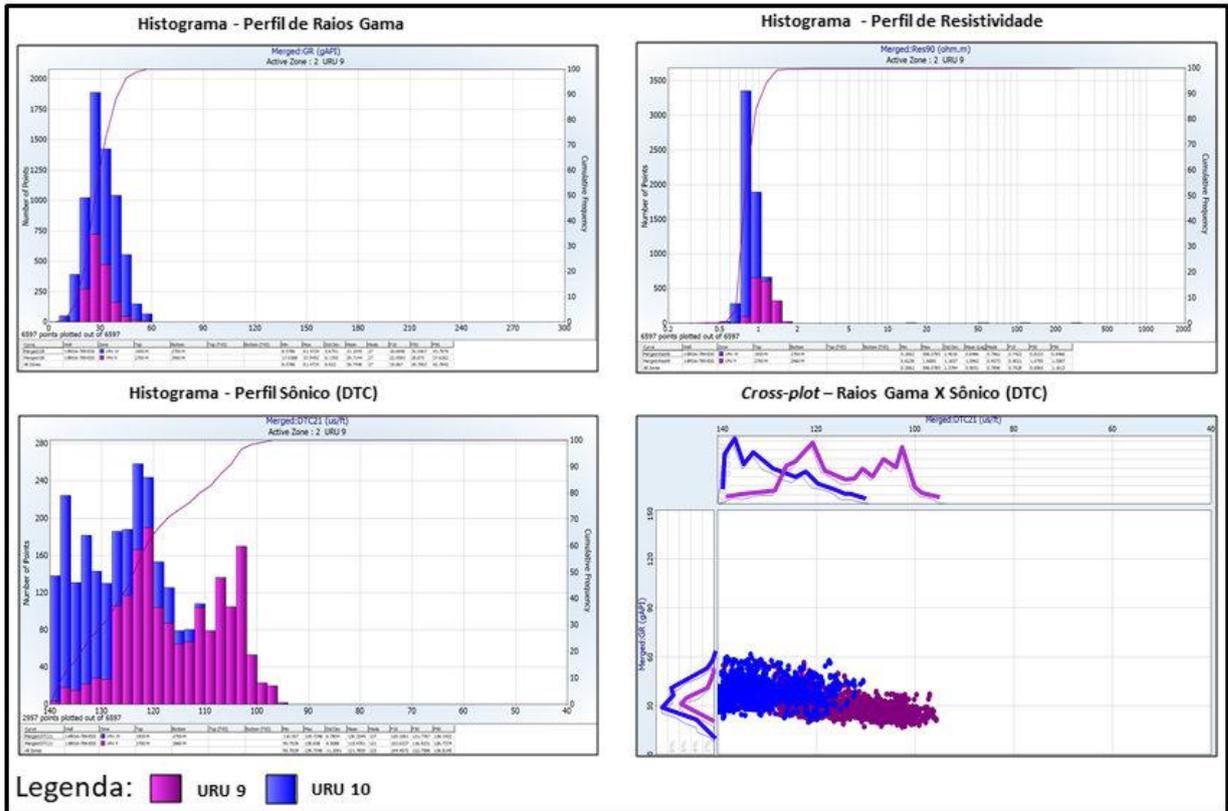


Figura 29 – Interpretação das Eletrossequências URU 9 e URU 10, a partir dos histogramas de todos os perfis geofísicos analisados, e do *cross-plot* dos perfis Raios Gama X Sônico. Os gráficos de histograma mostraram diferenças nos perfis Raios Gama, Resistividade e Sônico, com a URU 10 apresentando características mais resistivas, e maior tempo de trânsito em relação a URU 9. O *cross-plot* também confirmou as discrepâncias entre a URU 9 e URU 10, com o cruzamento entre os perfis de Raios Gama e Sônico, através da diferença entre as “nuvens de pontos” das eletrossequências em questão.

4.3 Correlação de poços

Para a abrangência das interpretações e a continuidade lateral das sucessões das eletrossequências definidas, foi realizada uma correlação entre os poços estudados (Figura 30). Como premissa, foi utilizado como datum o limite superior da Eletrossequência URU 10.

Os marcos elétricos auxiliaram na demarcação do limite entre as eletrossequências, sendo definido pelo comportamento distinto entre os perfis. Deste modo, a correlação permitiu a identificação da compatibilidade lateral das eletrossequências descritas em todos os

poços, correlacionando-as, permitindo uma breve interpretação geológica nessa região da bacia.

Além dos dados das perfilagens geofísicas, os poços 4-BRSA-444-ESS e 1-BRSA-789-ESS possuem informações sobre a cronoestratigrafia de toda a sucessão sedimentar analisada neste trabalho, já o poço 6-BRSA-486-ESS possui informações cronoestratigráficas apenas no intervalo 2750 m a 3250 m. Desta forma, houve a possibilidade de realizar uma comparação entre os resultados deste trabalho, com as referências bibliográficas (Figura 31).

Examinando a seção em questão observa-se que sua porção basal é delimitada pela Eletrossequência URU 1, compreendida nas idades desde o Cenomaniano até Turoniano. É caracterizada por camadas espessas de folhelhos radioativos com intercalação de pequenas camadas com granulometria mais grossa, possivelmente arenitos, o aumento dessa proporção cresce do poço mais distal, 1-BRSA-789-ESS, para o proximal 6-BRSA-486-ESS (Figura 30), portanto a URU 1 é interpretada nessa região da bacia como resultado de um evento que marca a subida do nível de base, sugerindo um ambiente com maior capacidade de preservação de matéria orgânica, conseqüentemente acarretando na deposição de rochas terrígenas finas, radioativas e com alto teor de matéria orgânica, em ambiente redutor, e que de acordo com França *et al.*, (2007) está justamente na fase em que há o afogamento da plataforma de Regência, observada na seção mais distal, no poço 1-789-ESS (Figura 30).

A Eletrossequência URU 2 correlaciona-se pelo comportamento semelhante dos perfis geofísicos em todos os poços, demonstrando continuidade lateral na porção da área de estudo, SE da bacia, com idades variando desde do final do Turoniano e início do Coniaciano, com um aumento de rochas com maior granulometria para o poço proximal, o 6-BRSA-486-ESS. A URU 2 é caracterizada litologicamente por rochas terrígenas finas, como folhelhos radioativos e com baixa velocidade sônica, entretanto exibindo maiores densidades em relação a URU 1, refletindo um folhelho com diferenças físicas, possivelmente características

mineralógicas distintas. Além disso, a URU 2 apresenta maiores intercalações de rochas terrígenas com maior granulometria em comparação em relação a URU 1 (Figura 30).

As Eletrossequências URU 3 e URU 4 possuem idades do Santoniano ao Campaniano, mostrando características litológicas semelhantes entre si, predominantemente folhelhos, porém a URU 3 possui maiores valores de radioatividade e densidades diante do seu intervalo, em todos os poços, demonstrando diferenças entre os folhelhos, indicando diferenciação mineralógica.

A Eletrossequência URU 5 possui a idade do Maastrichtiano e de acordo com a interpretação dos perfis geofísicos analisados, foi possível identificar sua abrangência em todos os poços do estudo. É caracterizada predominantemente por rochas clásticas grossa, diagnosticado como corpos turbidíticos, e menores quantidades de rochas clásticas finas, como folhelhos. A interpretação deposicional para essa eletrossequência pode estar relacionado com descida do nível de base, com uma sedimentação progradante. De acordo com França *et al.*, (2007), essa idade na bacia possui depósitos de folhelhos e corpos turbidíticos que foram transportados para a parte mais distal, através dos Paleocânions Cedro e Regência, sendo os principais condutos de sedimentos. (Figura 31).

A Eletrossequência URU 6, possui idade Paleocênica, e sua característica pode ser observada em todos os poços, portanto correlacionável. O resultado da sucessão sedimentar dessa eletrossequência pode ser interpretado como um novo evento deposicional na bacia, corroborada como aumento de classes de rochas mais finas radioativas. A interpretação atribuída a todas as descrições evidencia um caráter transgressivo visualizado nessa porção da bacia, o que também é compatível com a referencia bibliográfica de Ávila (2015) e França *et al.*, (2007), que relata uma fase retrogradante nesse momento na bacia (Figura 31).

A Eletrossequência URU 7 mostrou-se correlacionável em todos os poços do estudo, inserida na idade Eocênica, apresentando características litológicas como rochas terrígenas

mais grossas e menores presenças de camadas de rochas terrígenas finas, como folhelhos. Deste modo, a URU 7 representa uma descida do nível de base, marcado pela entrada de sedimentos mais grossos e mudando o padrão deposicional na bacia. O evento deposicional interpretado pelos resultados nos perfis, pode ser comparado com a referência bibliográfica, de acordo com França *et al.*, (2007), é relatado que a bacia está correlacionada ao soerguimento da Serra do Mar que expressou forte aporte sedimentar nessa idade Eocênica (Figura 31).

As Eletrosequências URU 8 possui idade no Oligoceno Inferior, com características atreladas a diminuição do perfil Raios Gama em todos os poços do estudo, o que difere em relação a eletrosequência anterior, URU 7, refletindo em uma mudança deposicional na bacia, sendo litologicamente atribuída a folhelhos na base, refletindo um ambiente de baixa energia, e pequenos intervalos de rochas com maior granulometria grossa para o topo, assumindo uma sucessão que representa um ambiente com maior energia. França *et al.*, (2007), afirmam que no topo do Oligoceno (Chattiano) existe uma discordância, gerada pelo rebaixamento eustático, ocasionando a deposição de sedimentos mais grossos, em contrapartida, Ávila (2015) retratou que no Oligoceno Inferior, ocorre eventos de inundação, com rochas de menores granulometrias associadas a deposição nessa fase. Pode-se concluir que as interpretações descritas na bibliografia são semelhantes com as interpretações associadas a eletrosequência URU 8 (Figura 31).

A Eletrosequência URU 9 possui idades desde o Oligoceno Médio ao Oligoceno Superior. Com características atribuídas a rochas mais finas, relacionadas a folhelhos, e também rochas com maior granulometria e mais resistivas, margas e arenitos. A correlação da URU 9 se mostrou eficaz, pois em todos os poços do estudo são encontradas semelhanças entre os perfis geofísicos. A interpretação sugere um contínuo ambiente com baixa energia,

com pequenas variações do nível de base, possivelmente associado ao evento do Oligoceno Inferior, de acordo com Ávila (2015), onde ocorrem transgressões.

A Eletrosequência URU 10 compreende a idade do Mioceno, com a característica litológica, observada nos perfis, como uma mistura de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos, como margas, no poço na região mais distal da área de estudo, e com maiores sedimentos arenosos no poço mais proximal. A correlação exibe uma variação lateral, com diminuição de rochas com maior granulometria para a região distal da área de estudo, portanto exemplificando a diminuição de energia de deposição para a região *offshore* (Figura 30).

De acordo com Ávila (2015) e França *et al.*, (2007), o evento deposicional na bacia é interpretado como progradacional, com folhelhos e arenitos turbidíticos, e nas porções distais, margas. Desta forma, o que foi observado nos perfis demonstra ser compatível com a descrição bibliográfica (Figura 31).

NW

SE

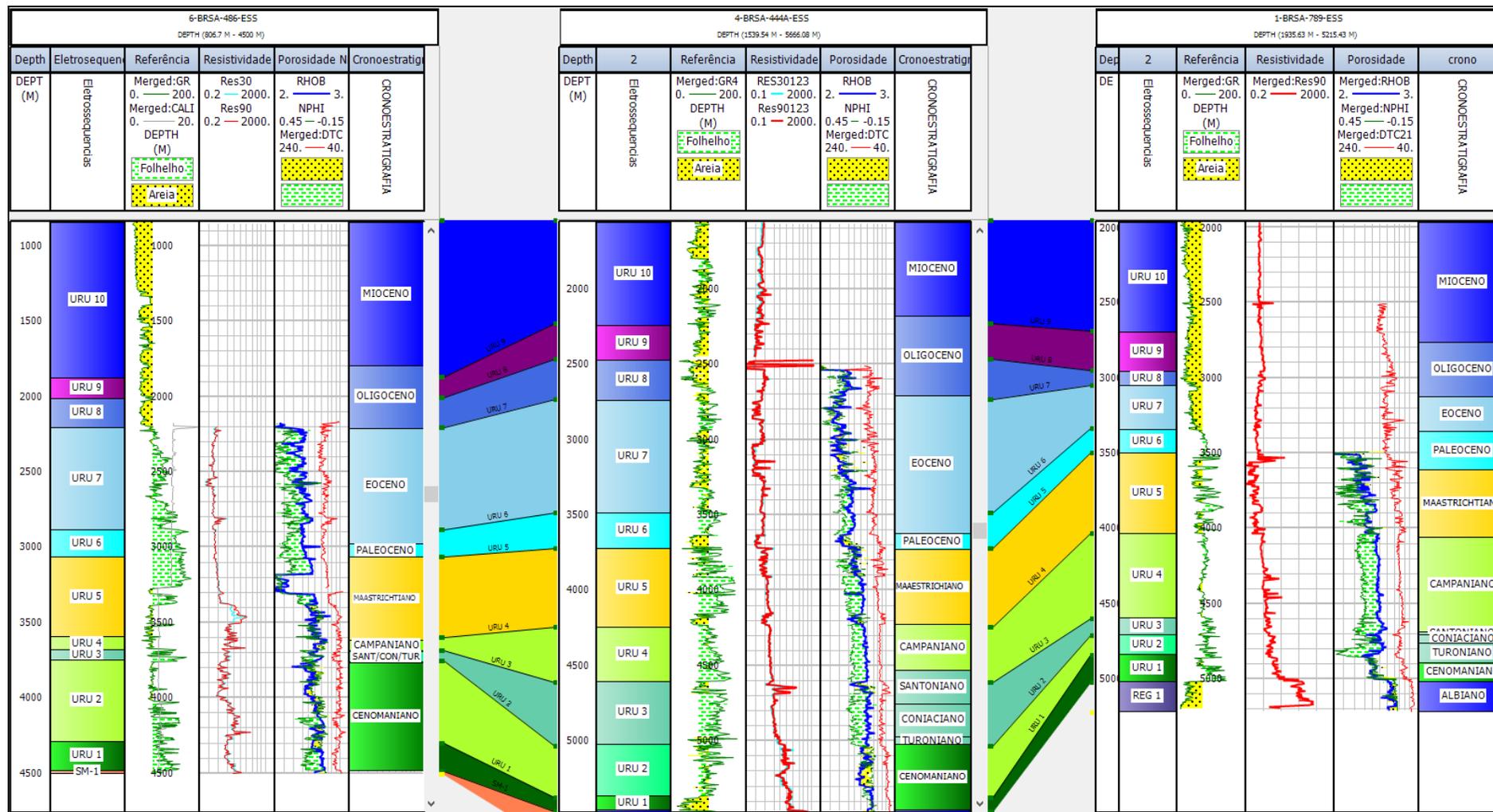
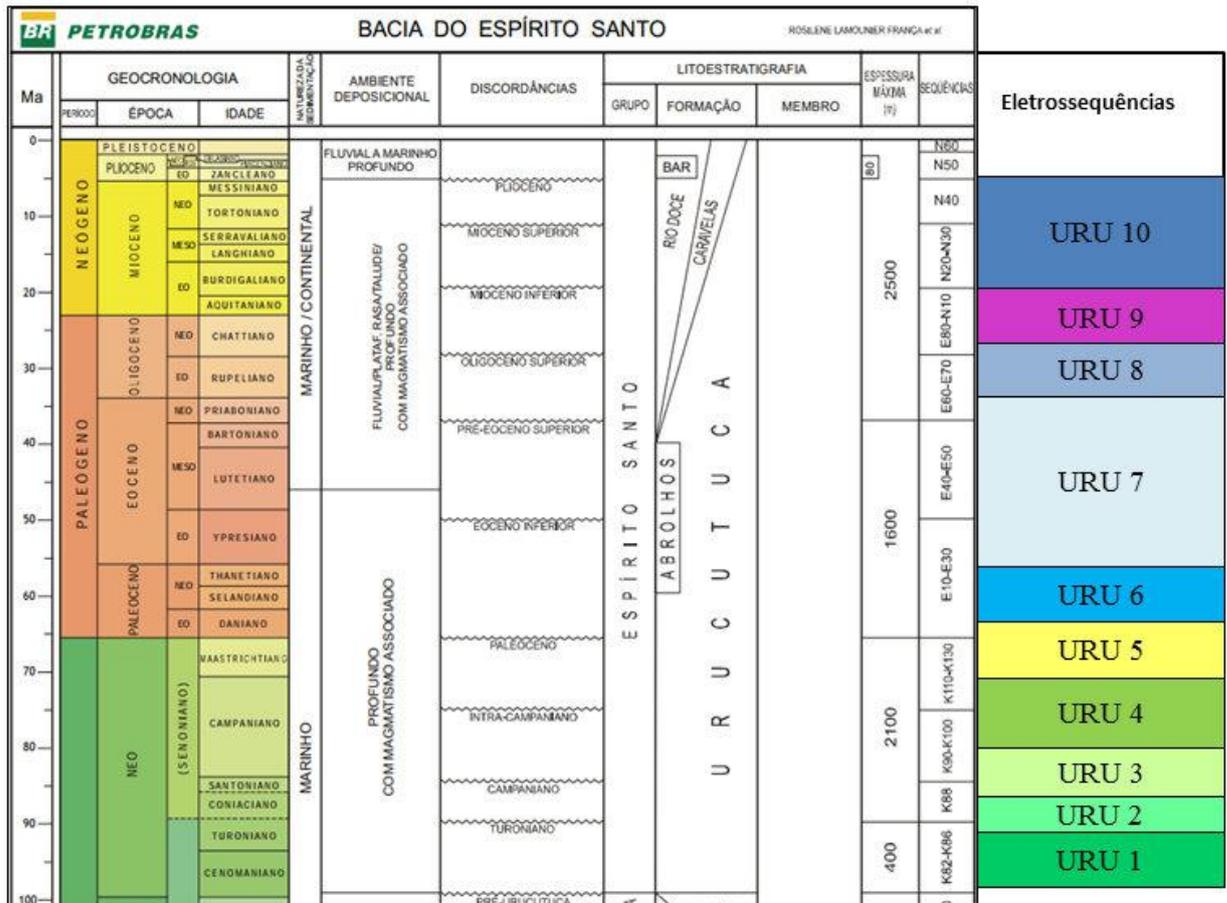


Figura 30 – Correlação entre os poços do estudo mostrando a compatibilidade entre as eletrosequências e abrangência da Formação Urucutuca.



5 CONCLUSÕES

Com o auxílio dos perfis geofísicos foram definidas 10 eletrossequências e 8 marcos elétricos em 3 poços do estudo na região *offshore*, sudeste da Bacia do Espírito Santo, que compreendem a unidade litoestratigráfica Formação Urucutuca.

A análise estatística, como os histogramas e os gráficos de dispersão *cross-plot*, corroboraram as diferenças entre as eletrossequências, além de auxiliar na identificação das principais litologias.

A partir da correlação, foi possível associar as informações cronoestratigráficas dos poços às interpretações, o que possibilitou observar que as eletrossequências são resultados de eventos de subida e descida do nível de base, como transgressões e regressões, durante toda a fase drifte da bacia.

Referências bibliográficas

ÁVILA R. *Décima Terceira Rodada de Licitações, Sumario Geológico e Setores em Oferta, Bacia do Espírito Santo, Superintendência de Definição de Blocos*. ANP- Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 18p., 2015.

FRANÇA, R.L.; DEL REY, A.C.; TAGLIARI, C.V.; BRANDÃO, J.R.; FONTANELLI, P.R. *Bacias do Espírito Santo. Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 501-509, 2007.

MOHRIAK, W.U. *Bacias sedimentares da margem continental brasileira*. In: BIZZI, L.A.;

SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (eds.) *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília: CPRM, 2003. Cap.III, p. 87-165.

NERY, G. G. 2013. *Perfilagem Geofísica em Poço Aberto*. Salvador, BA, 231p.

RIDER, M. 2000. *The Geological Interpretation of Well Logs*. Sutherland, Scotland. Second Edition, Rider-French Consulting Ltd, 280 p.

TAGLIARI, C.V. 2013. *Evolução geológica das sequencias mistas (siliciclásticas e carbonáticas) sob influências da tectônica que envolve o embasamento e da halocinese durante o Albiano – Plataforma de Regência – Bacia do Espírito Santo*. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, 21 (1): 149-174.

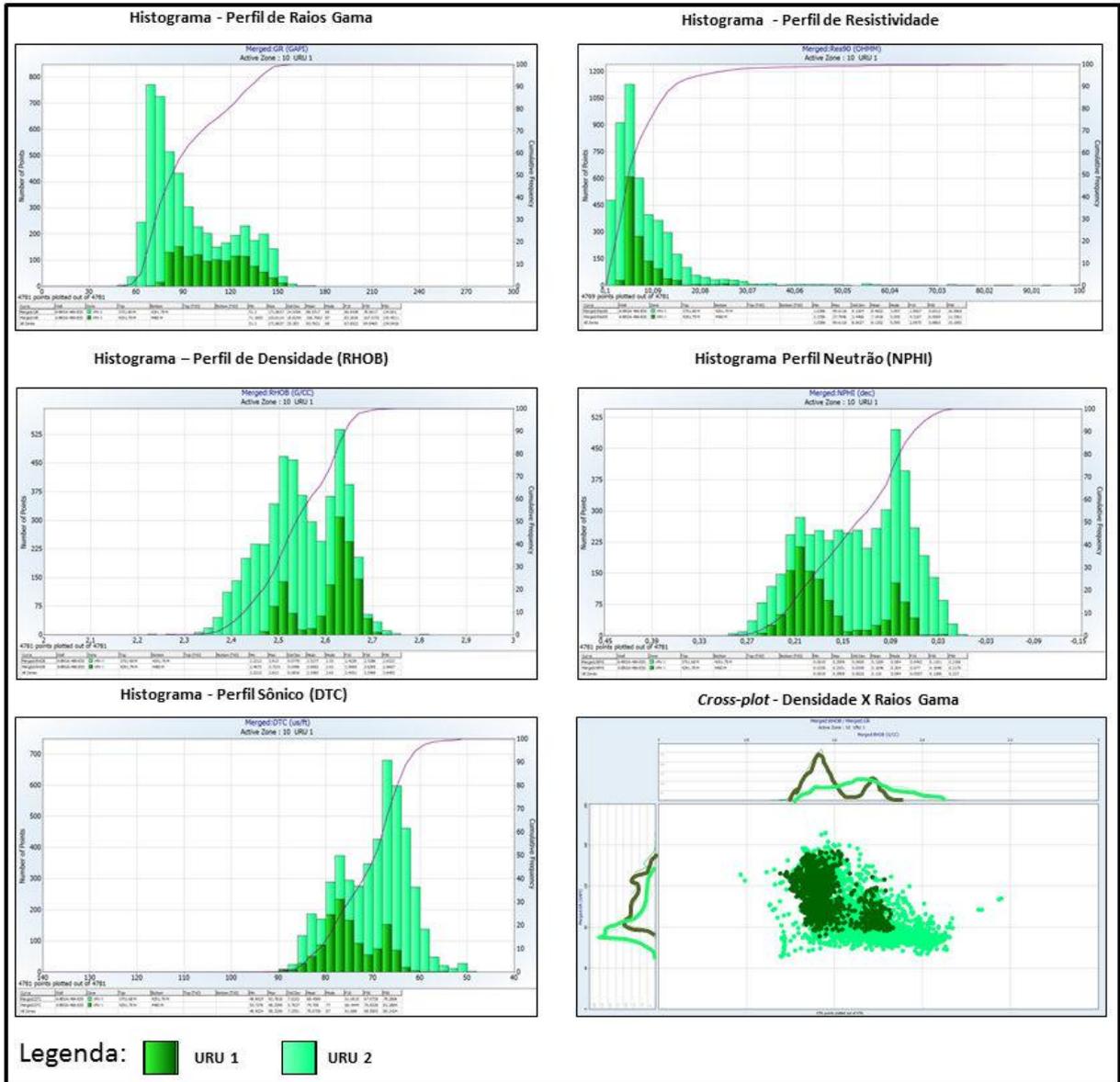
White, R. S. & McKenzie, D. P., 1989. Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Journal of Geophysical Research* 94:7685- 7730

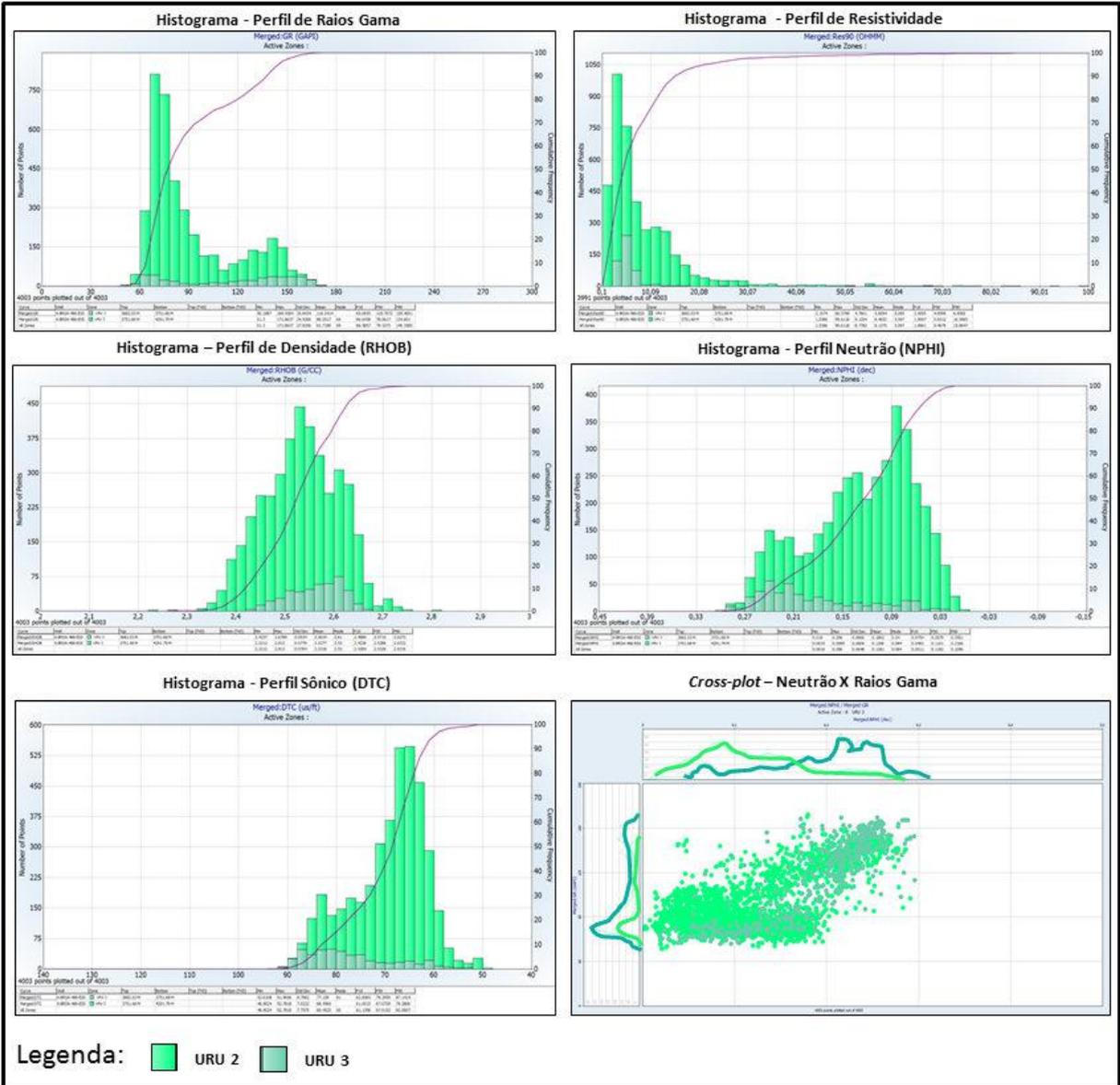
VIEIRA, R.A.B.; MENDES, M.P.; VIEIRA, P.E.; COSTA, L.A.R.; TAGLIARI, C. V.; BACELAR, A.P.; FEIJO, F.J, 1994. *Bacias do Espírito Santo e Mucuri*. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, 8 (1): 191-202.

SOARES, J.A. 2005. Um fluxo de trabalho para modelagem de eletrofácies com entrelaçamento de técnicas de classificação supervisionada e não-supervisionada. **In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA**, Salvador, 2005. **Anais...** Salvador, 6p. (CD-ROM, pdf)

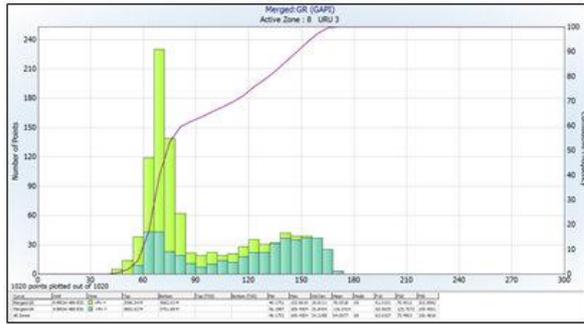
ROSA, H. 2006. *Estudo da Caracterização de Eletrofácies por meio de Perfis de Poços e Amostras de Testemunhos utilizando Estatística Multivariada*. Tese de Doutorado em Ciências e Engenharia do Petróleo, Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 280 p.

Apêndice A.1 - Gráficos estatísticos de histogramas e *Cross-plot* para os poços do poço 6-BRSA-486-ESS.

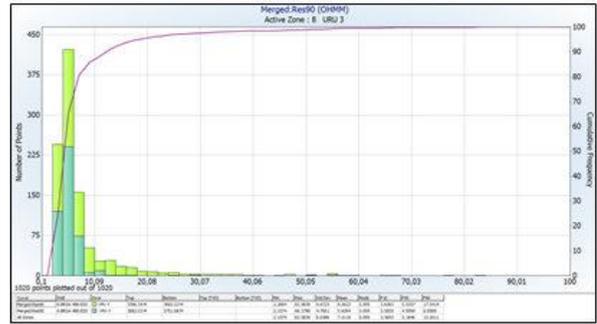




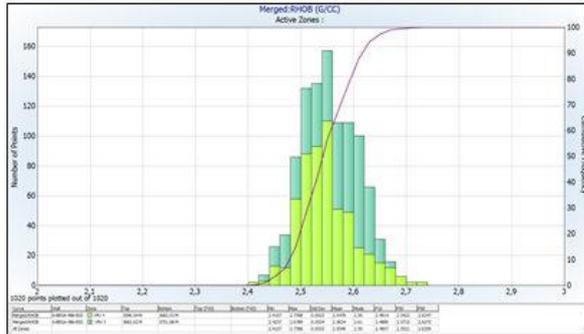
Histograma - Perfil de Raios Gama



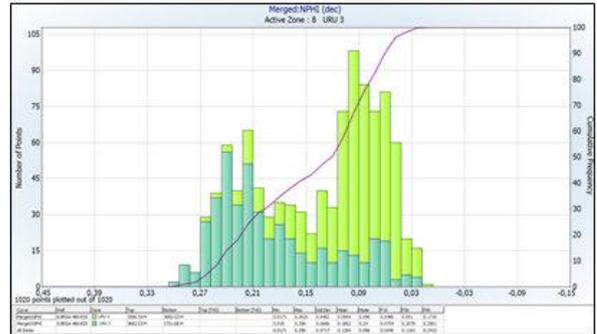
Histograma - Perfil de Resistividade



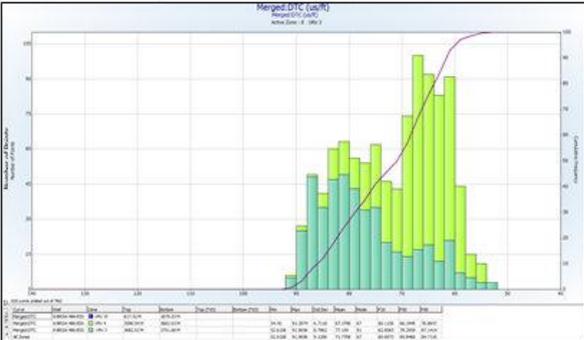
Histograma - Perfil de Densidade (RHOB)



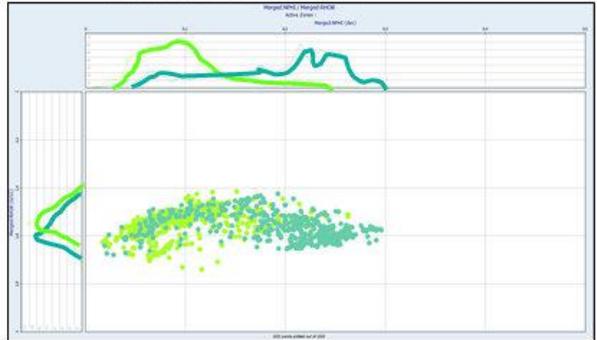
Histograma Perfil Neutrão (NPHI)



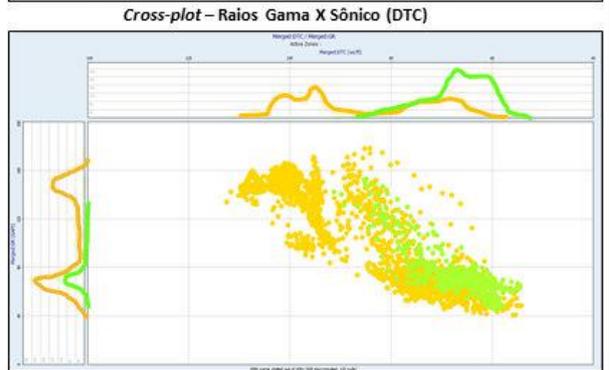
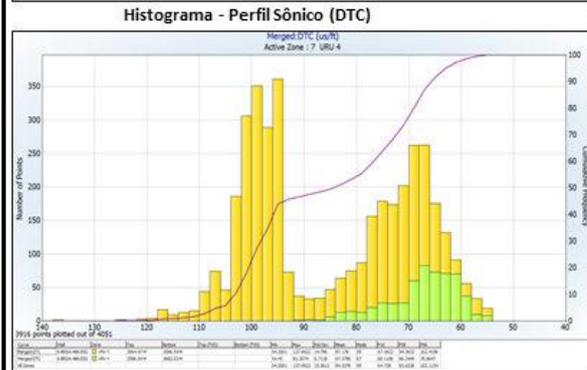
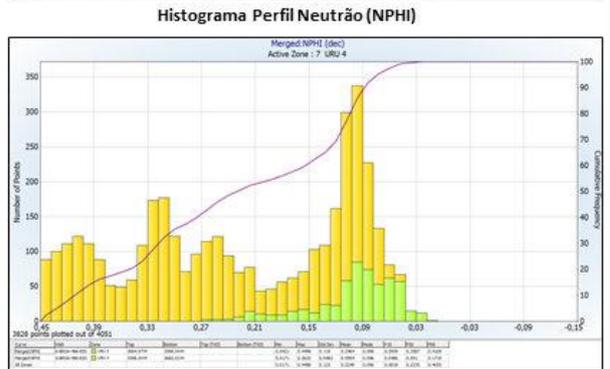
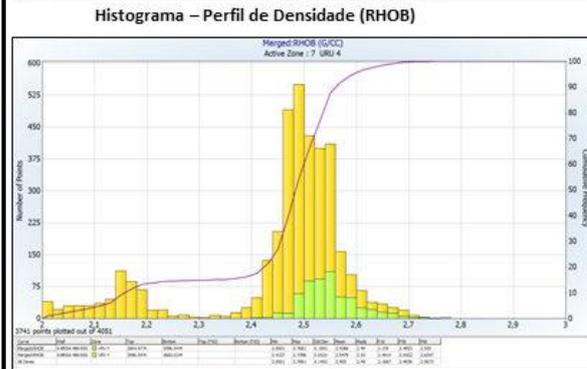
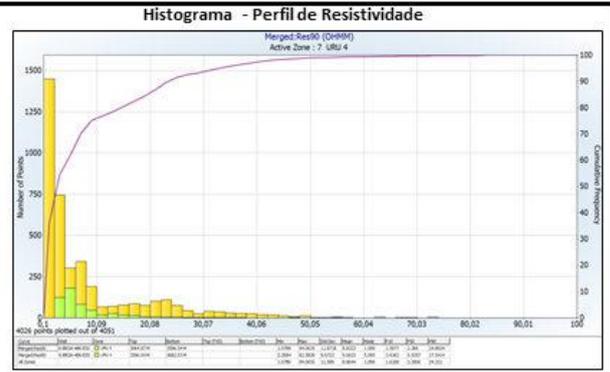
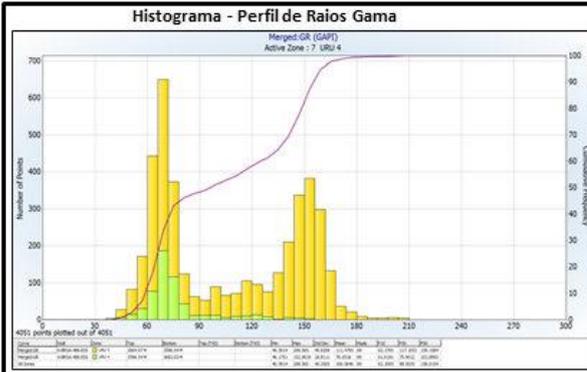
Histograma - Perfil Sônico (DTC)



Cross-plot - Raios Gama X NPHI

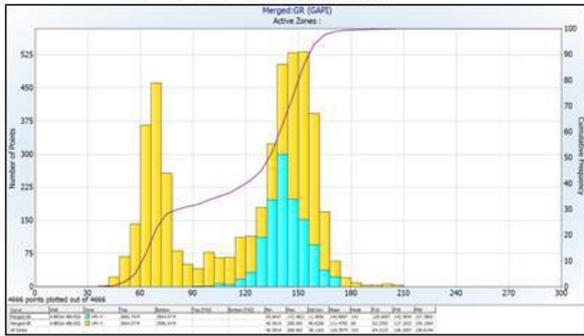


Legenda: ■ URU 3 ■ URU 4

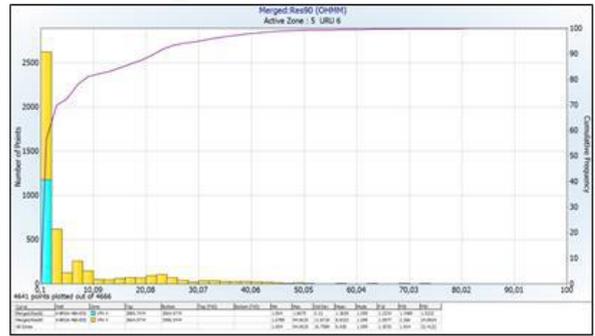


Legenda: ■ URU 4 ■ URU 5

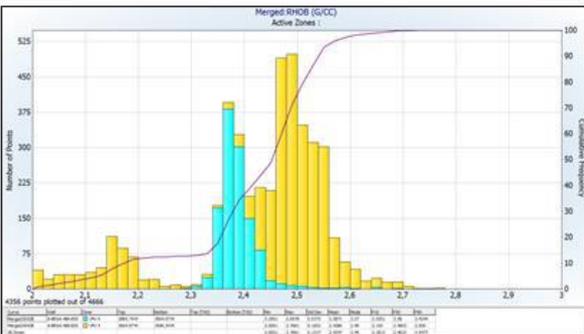
Histograma - Perfil de Raios Gama



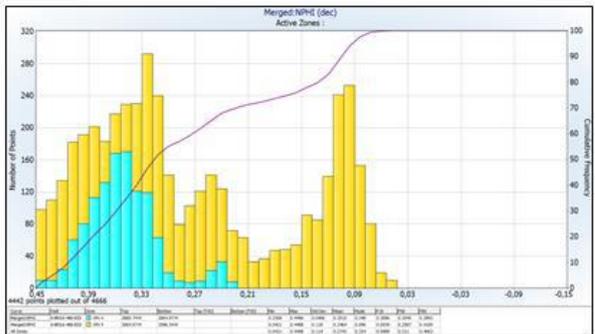
Histograma - Perfil de Resistividade



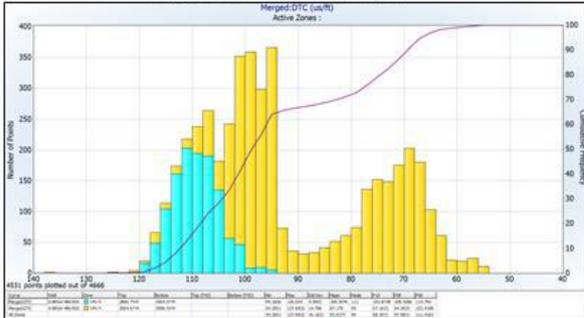
Histograma - Perfil Densidade



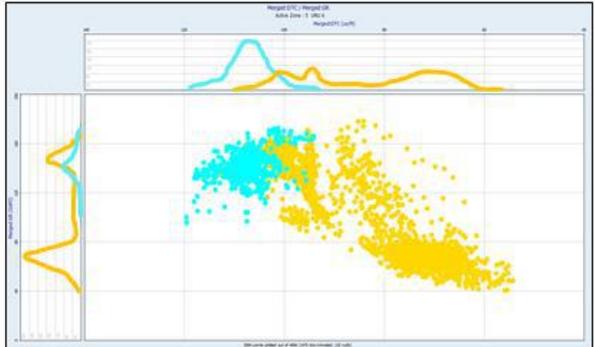
Histograma - Perfil Neutrão



Histograma - Perfil Sônico (DTC)

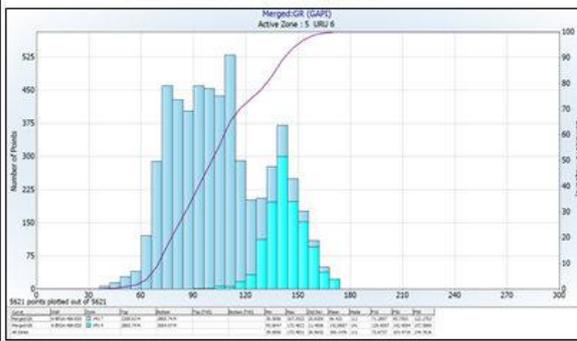


Cross-plot - Raios Gama X Sônico (DTC)

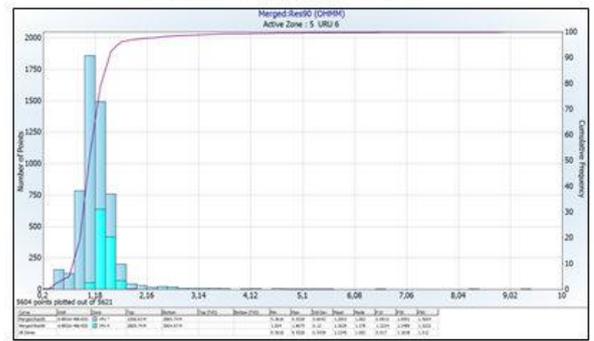


Legenda: URU 5 URU 6

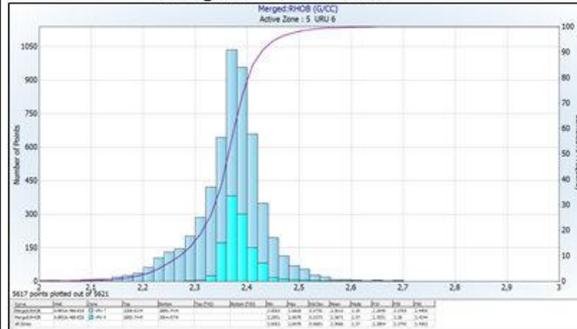
Histograma - Perfil de Raios Gama



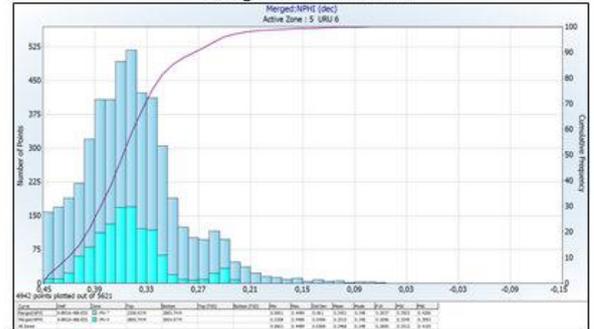
Histograma - Perfil de Resistividade



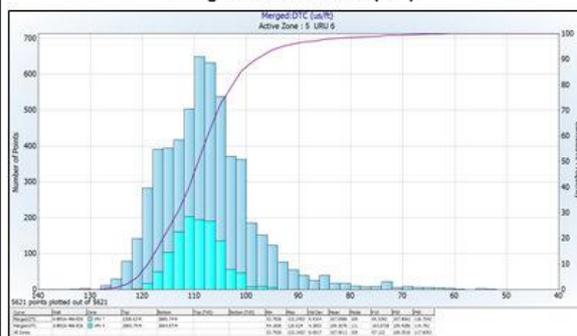
Histograma - Perfil Densidade



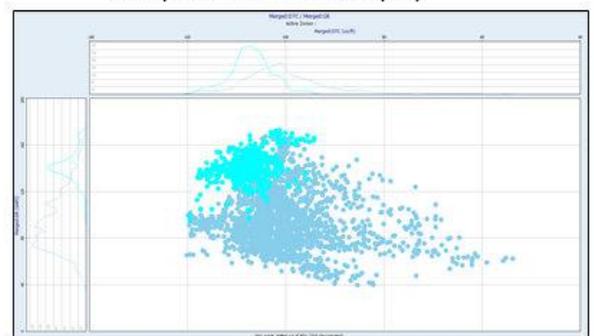
Histograma - Perfil Neutrão



Histograma - Perfil Sônico (DTC)

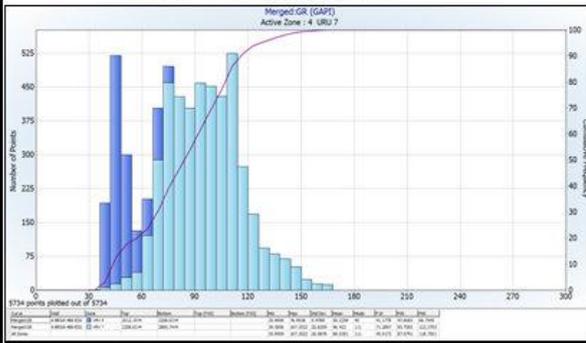


Cross-plot - Raios Gama X Sônico (DTC)

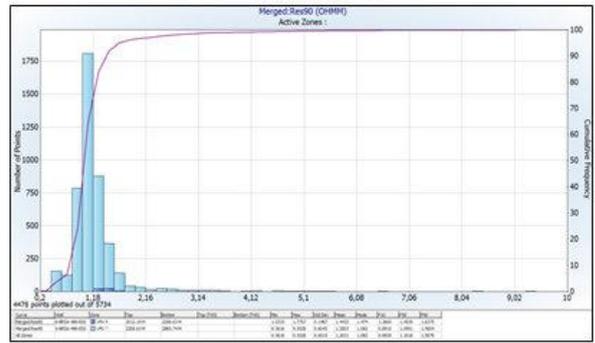


Legenda: ■ URU 6 ■ URU 7

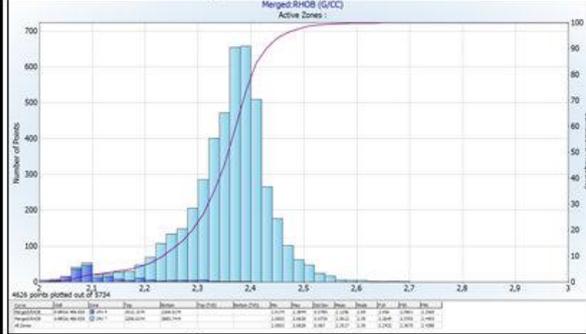
Histograma - Perfil de Raios Gama



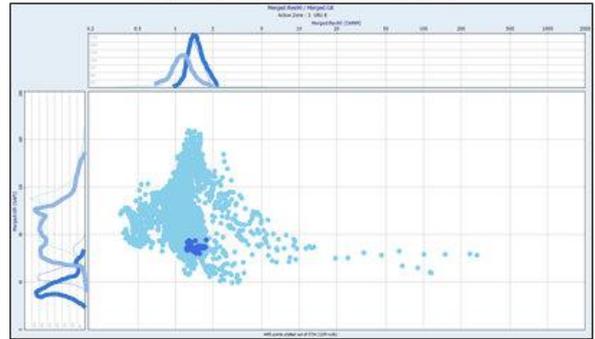
Histograma - Perfil de Resistividade



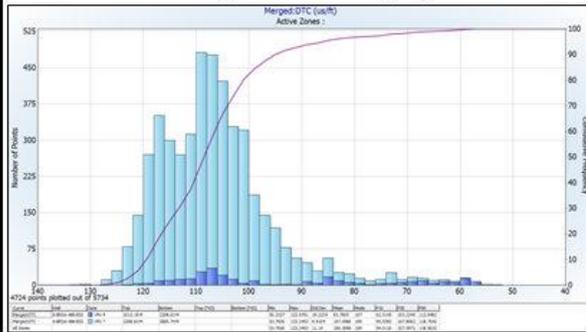
Histograma - Perfil Densidade



Cross-plot - Raios Gama X Resistividade

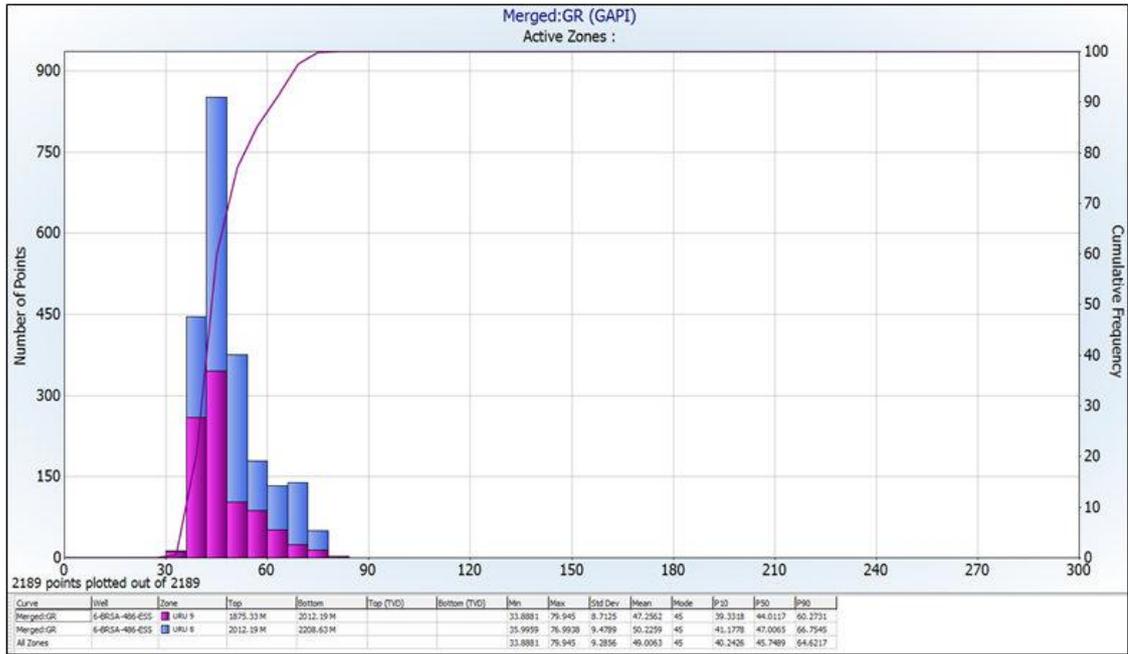


Histograma - Perfil Sônico (DTC)



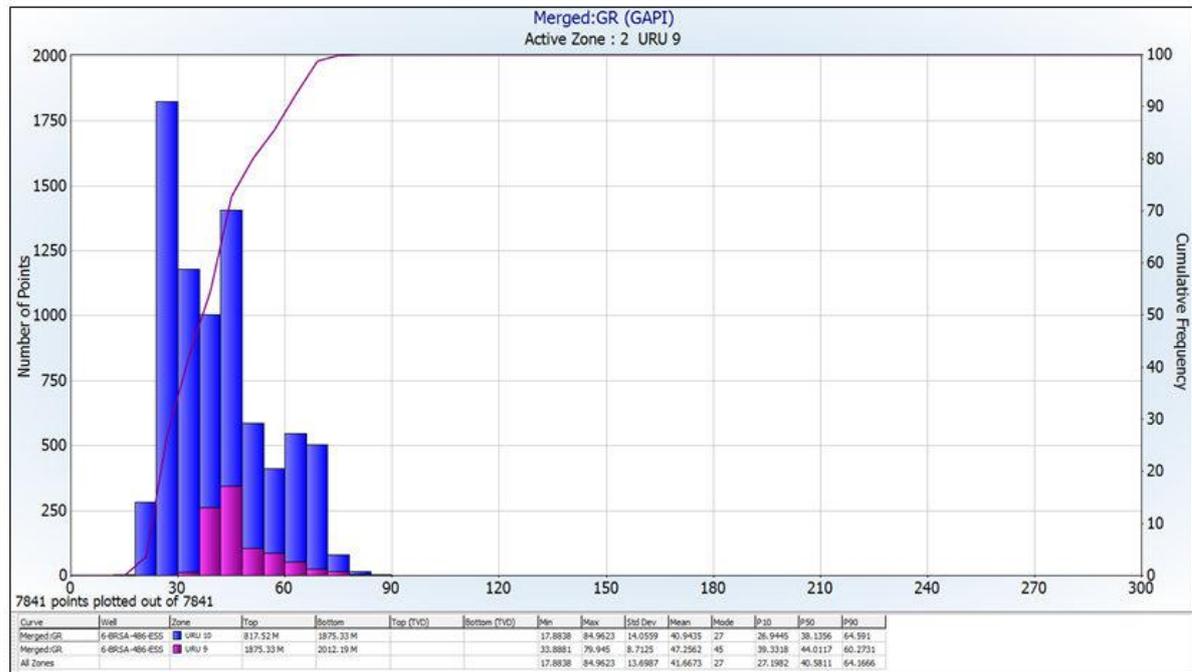
Legenda: URU 7 URU 8

Histograma - Perfil de Raios Gama



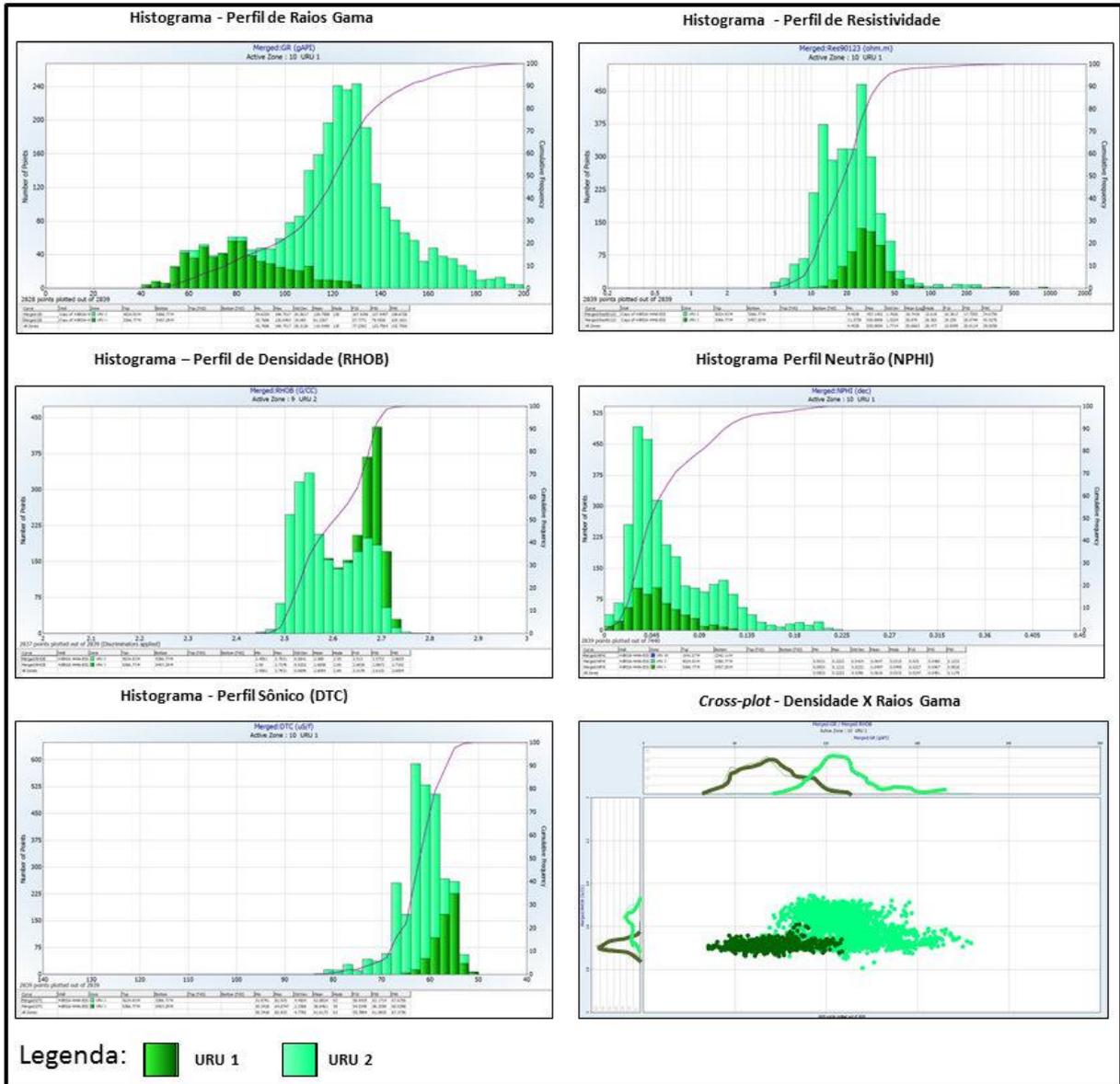
Legenda: ■ URU 8 ■ URU 9

Histograma - Perfil de Raios Gama

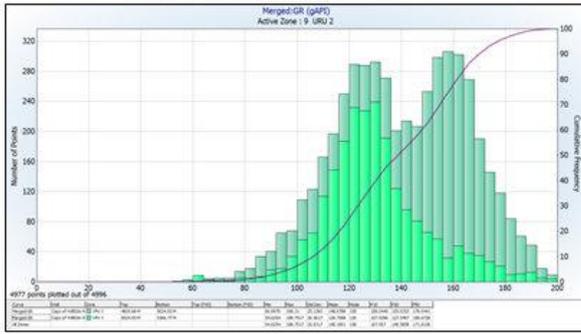


Legenda: ■ URU 9 ■ URU 10

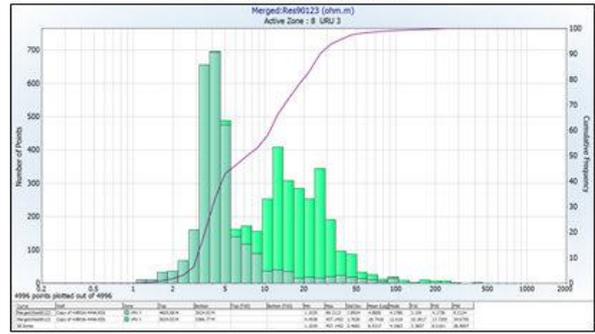
Apêndice A.1 - Gráficos estatísticos de histogramas e *Cross-plot* para os poços do poço 4-BRSA-444A-ESS.



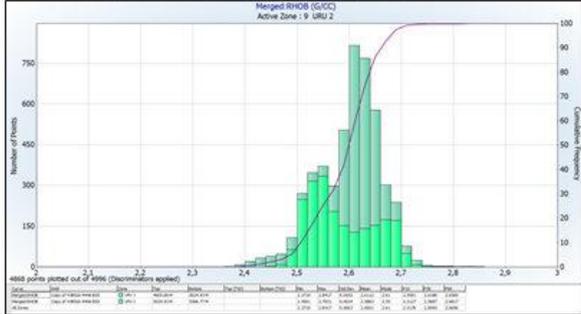
Histograma - Perfil de Raios Gama



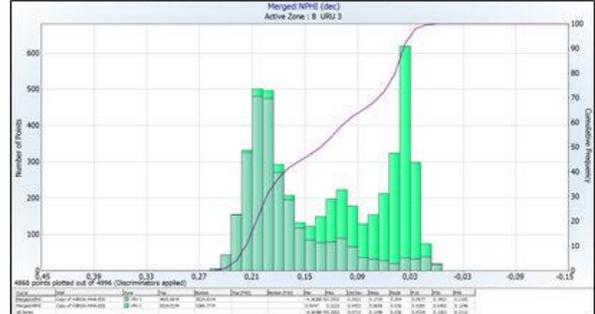
Histograma - Perfil de Resistividade



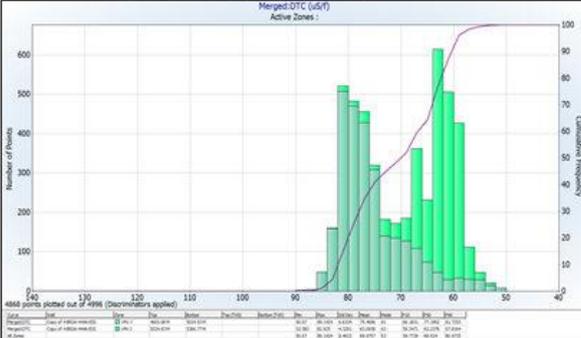
Histograma - Perfil de Densidade (RHOB)



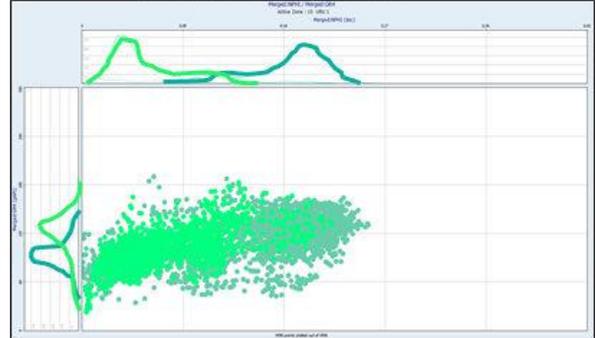
Histograma - Perfil Neutrão (NPHI)



Histograma - Perfil Sônico (DTC)

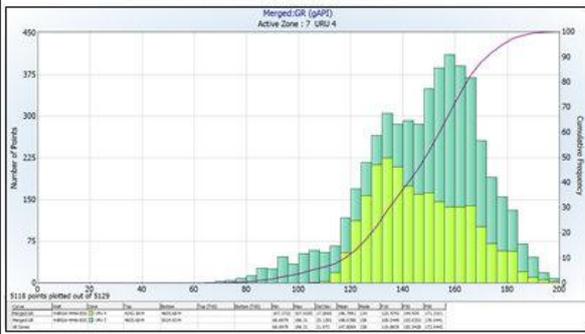


Cross-plot - Neutrão X Raios Gama

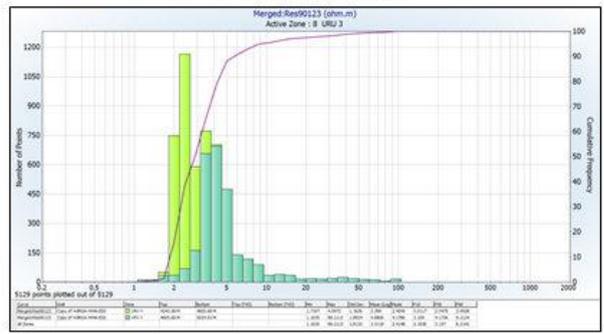


Legenda: ■ URU 2 ■ URU 3

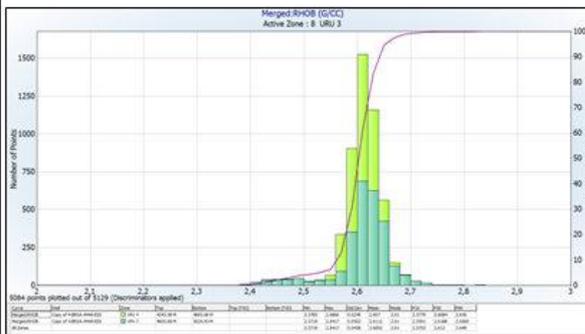
Histograma - Perfil de Raios Gama



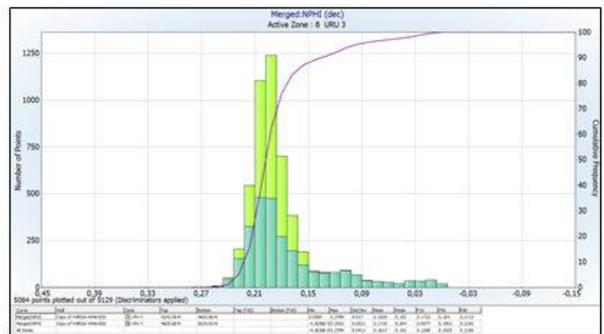
Histograma - Perfil de Resistividade



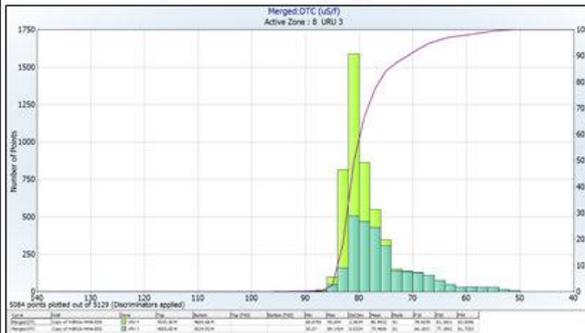
Histograma - Perfil de Densidade (RHOB)



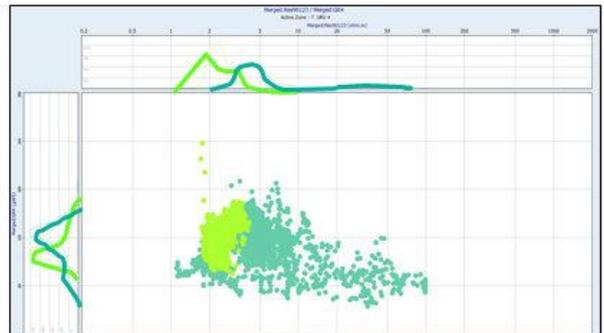
Histograma Perfil Neutrão (NPHI)



Histograma - Perfil Sônico (DTC)

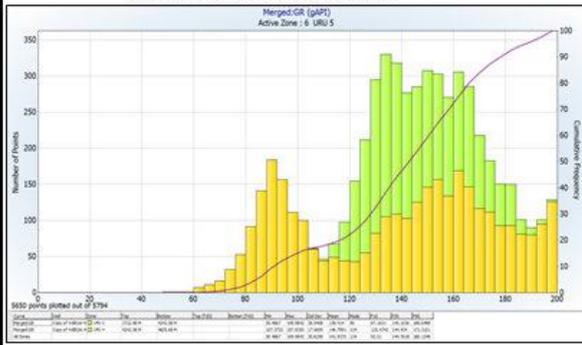


Cross-plot - Raios Gama X Resistividade

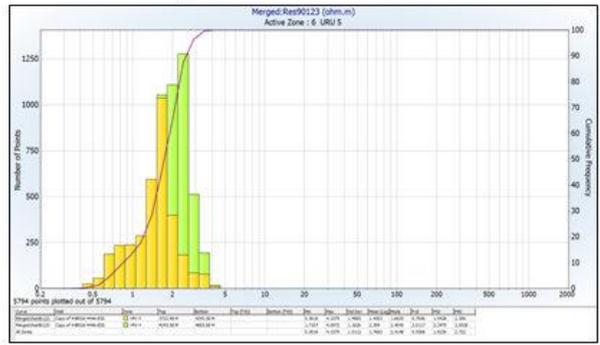


Legenda: ■ URU 3 ■ URU 4

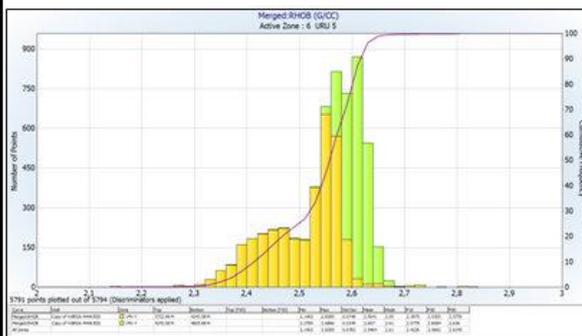
Histograma - Perfil de Raios Gama



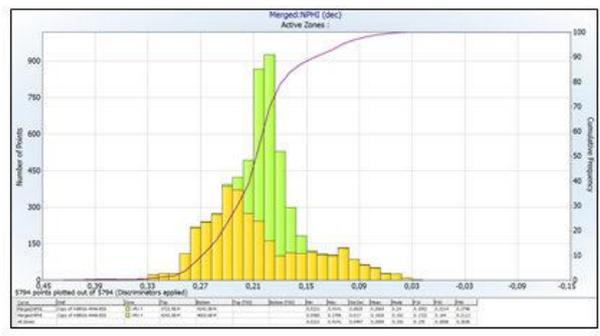
Histograma - Perfil de Resistividade



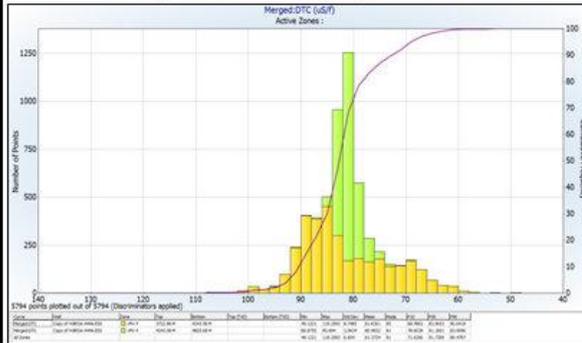
Histograma - Perfil de Densidade (RHOB)



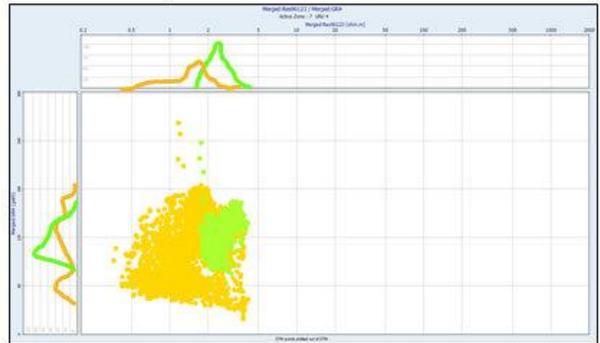
Histograma Perfil Neutro (NPHI)



Histograma - Perfil Sônico (DTC)



Cross-plot - Raios Gama X Resistividade



Legenda: ■ URU 4 ■ URU 5

